

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilních materiálů

Katedra textilních materiálů

Obor 31-06-N

Textilní materiálové inženýrství

Zpřesnění metody měření drsnosti textilií

Precision of method of textile roughness measurement

Petra Kalendová

Katedra— 482

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Jiří Militký, CSc

Konzultant: Ing. Miroslav Mazal

Rozsah práce:

Počet stran: 52

Počet obrázků: 22

Počet tabulek: 2

Počet grafů: 10

Počet příloh: 6

Prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých parametrů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že souhlasím s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.)

Jsem si vědoma, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci dne 12.5.2007

.....

Podpis

Poděkování:

Na úvod chci poděkovat vedoucímu své diplomové práce prof. Ing. Jiřímu Militkému CSc. za cenné rady a odbornou pomoc. Mé poděkování patří také Doc. Ing. Miroslavu Svobodovi, Ing. Zuzaně Fléglové a Ing. Marii Koldinské.

Anotace:

Cílem této diplomové práce je navrhnout a realizovat experiment zpřesňující metodu měření drsnosti textilních materiálů na přístroji KES-FB4 pomocí modifikace snímání dat programem LabVIEW.

V úvodní části je popsána drsnost povrchu, její charakteristické parametry a metody měření. V experimentální části jsou popsány vzorky vybraných textilních materiálů, a navržená modifikace snímání dat. Třetí část obsahuje rozbor získaných výsledků.

Annotation:

The aim of this final thesis is to propose and realize experiment for precision of measurement of material roughness on KES-FB4 machine with addition of program LabVIEW.

An introduction part describes specific parameters and measurement methods of material roughness. An experimental part contains description of textile samples and a modification of scanning of measured data. The third part contains an analysis of acquired results.

Seznam zkratek a symbolů

SHV – profil kolísání povrchové výšky (Surface height variation)

SFV – profil kolísání síly (surface force variation)

$R(d_j)$ - funkce popisující proměnlivost tloušťky

$F(d_j)$ - funkce popisující proměnlivost síly potřebné k překonání tření

MAD – průměrná absolutní odchylka profilu

R_a - průměrná hodnota výšek povrchu

SD - směrodatná odchylka

CV - variační koeficient výšky profilu

MP - průměrná výška vrcholů

MV – průměrná hloubka proláklín

PSC – průměrný čtverec směrnice povrchu

PC – průměrná výška vrcholů

MS – průměrná směrnice (šikmost) profilu

MV- průměrná hloubka proláklín

TP- desetibodový průměr

D_F - průměrný fraktální objem

D_{Fp} – počáteční hodnota fraktálního rozměru

THV - (total hand value) – výsledná hodnota omaku (KES)

d_s - body popisující profil povrchu

d_j - vzdálenost volená mezi jednotlivými záznamy

MIU - střední hodnota koeficientu tření μ

μ – koeficient tření

MMD – střední odchylka koeficientu tření

F – třecí síla

P – normálová síla

SMD – směrodatná odchylka geometrické drsnosti [μm]

R_a – průměrná hodnota povrchových výšek

$\overline{R_a}$ - aritmetický průměr povrchových výšek

$R_a(\text{geom.})$ - geometrický průměr povrchových výšek

SD^2 - rozptyl

T – tloušťka materiálu

r – korelační koeficient

l – základní délka měřeného povrchu

\overline{X} - aritmetický průměr

Obsah

1.	Úvod.....	9
2.	Teoretická část.....	10
2.1.	Drsnost obecně	10
2.2.	Drsnost textilních materiálů.....	11
2.2.1.	Popis drsnosti povrchu.....	11
2.2.2.	Charakteristika SVH a SFV dráhy.....	12
2.2.3.	Hodnocení profilu povrchu.....	12
2.2.4.	Statistické charakteristiky popisující povrchové vlastnosti.....	13
2.3.	Metody měření drsnosti netextilních materiálů – strojních součástí.....	18
2.3.1.	Kontaktní metody měření drsnosti.....	19
2.3.2.	Bezkontaktní metody měření drsnosti.....	25
2.4.	Metody měření drsnosti textilních materiálů.....	28
2.4.1.	Kontaktní metody měření drsnosti.....	29
2.4.2.	Bezkontaktní metody měření drsnosti textilních materiálů.....	32
3.	Experimentální část.....	35
3.1.	Popis použitých vzorků.....	35
3.1.1.	Parametry použitých materiálů.....	35
3.1.2.	Měření tloušťky materiálů.....	35
3.2.	Měření drsnosti textilií pomocí KES-FB4.....	36
3.3.	Modifikace snímání dat z KES-FB4 pomocí programu LabVIEW	37
3.3.1.	Podmínky měření.....	38
3.3.2.	Zpracování naměřených dat.....	39
3.3.3.	Schéma měřicího systému a vyhodnocování naměřených dat.....	41
3.3.4.	Porovnání metod pomocí korelace.....	42
4.	Rozbor získaných výsledků.....	43
5.	Závěr.....	50
6.	Seznam použité literatury.....	51
7.	Seznam příloh.....	52

1.Úvod

Drsnost povrchu je pojem, který je široce používán v mnoha odvětvích, nejen jako charakteristika povrchu textilních materiálů. Důvodem pro měření drsnosti textilií je kontrola kvality, nebo komfort odívání a omak. Existuje několik metod, objektivních nebo subjektivních, které umožňují přiřadit drsnosti materiálu konkrétní hodnotu. (např. metody založené na snímání povrchové dráhy textilie pomocí snímače zaznamenávajícího proměnlivost tloušťky ve stanovených intervalech, měření drsnosti pomocí laseru atd.)

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a realizovat experiment zpřesňující metodu měření drsnosti textilních materiálů na přístroji KES-FB4 pomocí modifikace snímání dat programem LabVIEW.

Tato práce popisuje objektivní metodu hodnocení povrchové drsnosti textilií, výstupní data, jejich zpracování, statistické parametry charakterizující nerovnosti tvaru a povrchu a vzájemné korelace mezi metodami snímání dat.

2. Teoretická část

2.1. Drsnost - obecně

Sledování, hodnocení a využívání znalostí o drsnosti povrchu pro zvyšování jakosti je jedním ze základních úkolů vyplývajících ze zabezpečování spolehlivosti.

Jakost povrchu tj. drsnost resp. mikrogeometrie povrchu a vlastnosti povrchové vrstvy ovlivňují velmi výrazně životnost a spolehlivost provozu součástí. Na drsnosti povrchu závisí např. přesnost chodu strojních součástí, jejich hlučnost, doba záběhu, ztráty třením, elektrická vodivost, přestup tepla, únavová pevnost, odolnost proti opotřebení, odolnost proti korozi apod. Drsnost povrchu tedy ovlivňuje průběhy chemických a fyzikálních jevů, které provázejí činnost funkčního povrchu dané součásti.

Význam vhodného povrchu se projevuje tam, kde vzájemný systém funkčních ploch významně ovlivňuje chování nějakého fyzikálního procesu. Při definování a optimalizování takového systému je nutné vzít v úvahu povrchy funkčních ploch a jejich odpovídající charakteristiky. Je nutné ale připomenout, že základní problémy konstrukce, jako je opotřebení, tuhost spojení, pevnost součástí, únava, přesnost nebo kinematické vazby i dynamika strojů nemohou být uspokojivě vyřešeny bez úplných informací o vzájemném stavu ploch.

V současné době se spolehlivost jakéhokoliv systému stává rozhodujícím činitelem. A tato spolehlivost závisí především na jakosti povrchu. Protože geometrický tvar uspořádané plochy ukazuje na to, jak byla daná plocha vyrobena, je možné konstatovat, že každá vyrobená plocha vlastně představuje výstup metody určitého výrobního systému. Takový systém, kterým se dokončuje většina funkčních ploch, je vlastně procesem přeměny nebo oddělování materiálu pomocí různých druhů energie na stroji, která tím určuje geometrický tvar i kinematiku převedení energie nutné pro vytvoření dané plochy.

Podrobné znalosti problematiky jakosti povrchu a jejího hodnocení mají význam v tom, že vedou ke zpřesnění požadavků na funkční plochy při jejich navrhování, přispějí ke stanovení technologických parametrů při výrobě, stejně jako

k dalšímu hodnocení textury povrchu při výzkumu, laboratorních zkouškách a využití.[1]

2.2. Drsnost textilních materiálů

Drsnost a charakteristika povrchu je jednou ze základních složek popisu textilií. Lze ji hodnotit na všech úrovních, od vlákenné předlohy až po finální textilii. Výsledná drsnost tak může představovat kombinaci přirozené drsnosti materiálu a konstrukční drsnost získanou daným způsobem výroby a zpracování. Drsnost svou mírou výrazně ovlivňuje nejen organoleptické vlastnosti, které jsou posuzované smyslovými orgány, ale také funkčnost a aplikovatelnost daného materiálu nebo výrobku. O drsnosti nelze mluvit jako o nežádoucí vlastnosti. Je to vlastnost určená pro konkrétní účel, někde je vyžadována, někde naopak potlačována. [2]

2.2.1. Popis drsnosti povrchu

Obecně existují dva důvody pro měření povrchové drsnosti. První z těchto důvodů je kontrola výroby z důvodu zjištění, zda se kvalita výroby neliší. V textilním oboru jsou prvním důvodem speciální úpravy (jako je žehlení) a další důvod je spojen s komfortem odívání.

Z odborného pohledu, drsný povrch poukazuje na proces, který má dva základní geometrické rysy.

1. Náhodné kolísání - drsný povrch se může velmi často měnit v prostoru náhodným způsobem a proto zde není žádná prostorová funkce schopná tento jev popsat do geometrické formy.

2. Strukturní kolísání - rozdílnosti drsnosti povrchu nejsou úplně nezávislé s ohledem na jejich prostorové pozice, ale jejich korelace závisí na jejich vzdálenosti. Povrch tkaniny je charakterizován téměř opakovatelnými vzory, a proto je zde často patrná pravidelnost. Lze tedy říci, že je zde možné najít jisté periodické opakování. [3]

2.2.2. Charakteristika SVH a SFV dráhy

SHV – Surface height variation – profil kolísání povrchové výšky

Kolísání povrchové výšky je pro většinu plošných textilií nepravidelné a hodně strukturované.

SFV – surface force variation – profil kolísání síly

Jde o záznam síly potřebný k pohybu břitu po povrchu textilie. Získaný profil kolísání síly by měl být úměrný výsledku z přímého měření profilu výšky povrchu SVH. Kvůli deformaci povrchu se však SFV od SVH liší.

Snímač u jednotlivých zařízení na měření povrchové drsnosti kopíruje povrch textilie ve směru x – ové osy a v stanovených vzdálenostech zaznamenává proměnlivost tloušťky $R(d_j)$ (např. KES, tloušťkoměr) nebo síly $F(d_j)$ (přídavné zařízení k dynamometru). Délka změřeného úseku l ve směru x – ové osy je definovaná standardně pro jednotlivá zařízení. Křivka kopírující povrch textilie je tvořena množinou bodů d_j , které jsou od sebe vzdálené o stejný úsek ds . Z této křivky lze stanovit a definovat členitost povrchu a určit základní statistické parametry popisující drsnost povrchu .

2.2.3. Hodnocení profilu povrchu

Variace resp. změna tloušťky $R(d_j)$ nebo změna síly $F(d_j)$, potřebné k překonání povrchového tření, může být obecné kombinací náhodného kolísání (nestejnoměrnost přízí, rozestup mezi přízemi, nejednotnost výroby) a periodických kolísání způsobené opakováním se vzoru tvořeného útkovými nebo osnovními přízemi. Pro výpočet charakteristik popisujících povrchovou drsnost se používají změřené hodnoty variace tloušťky $R(d_j)$ a variace síly $F(d_j)$. U tkanin je nevyhnutelné identifikovat periodické složky v tloušťce $R(d_j)$ a síle $F(d_j)$. Pro tyto účely se často využívá spektrální analýza.

Standardní metody hodnocení povrchové drsnosti jsou založené na relativní proměnlivosti charakterizované variačním koeficientem (analogicky jako hmotná stejnoměrnost u přízí), nebo jednoduše pomocí směrodatné odchylky. Charakteristika povrchové drsnosti, založená na průměrné absolutní odchylce MAD, je popsána klasickým statistickým postupem. Tato charakteristika je vhodná pro náhodně zvolené SHV dráhy, kde jednotlivé elementy SHV dráhy jsou na sobě statisticky nezávislé.

2.2.4. Statistické charakteristiky popisující povrchové vlastnosti

Ze změřené SHV křivky nebo z kolísání síly potřebné k pohybu bříty po povrchu lze definovat jednotlivé parametry drsnosti. Profily drsnosti jsou popsány množinou bodů $R(d_j)$, kde $j = 1 \dots M$, definované na délce intervalu L . Místa měření d_j se volí jako ekvidistantní (stejně vzdálenosti) a pak se $R(d_j)$ nahrazuje proměnnou R_j . Pro identifikaci pozice měření na vzorku je postačující znát vzdálenost mezi měřeními

$$d_{s,j} = d_j - d_{i,j} = \frac{L}{M} \text{ pro } j > 1. [5]$$

Standardní parametry povrchové drsnosti

Průměrná absolutní odchylka MAD

Tato proměnná je rovna průměrnému absolutnímu rozdílu výšky povrchu od průměrné hodnoty R_a . Povrchový profil je daný tímto vzorcem

$$MAD = \frac{1}{M} \sum_j |R_j - R_a| \quad (1)$$

MAD je často užívána pro kontrolu jakosti. Nerozlišuje mezi profily rozdílných tvarů. Její vlastnosti jsou používány pro případ, že R_j jsou nezávisle shodné normální rozdělení. To však pro většinu povrchů neplatí.

Směrodatná odchylka SD

Je definována vztahem

$$SD = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_j (R_j - R_a)^2} \quad (2)$$

Její vlastnosti jsou používány pro případ, že R_j jsou nezávislá a mají stejné normální rozdělení. Výhoda směrodatné odchylky oproti průměrné absolutní odchylce je, že pro normálně rozdělená data je jednodušší odvodit interval spolehlivosti a nebo provádět statistické testy. Směrodatná odchylka má vždy vyšší hodnotou oproti průměrné absolutní odchylce a pro normální data je $SD = 1.25 \cdot MAD$. Směrodatná odchylka také nerozlišuje mezi profily rozdílných tvarů- hodnota směrodatné odchylky je méně vhodná pro sledování těch povrchů, které mají velké výchylky.

Variační koeficient výšky profilu CV

Tato velmi používaná charakteristika variability je definovaná vztahem:

$$CV = SD / R_a \quad (3)$$

Průměrná výška vrcholů MP

Se vypočítá jako průměr z odchylek profilů nad referenční hodnotou R (často je $R = R_a$). Je dána jako průměrná hodnota vrcholů.

$$P_i, i = Np,$$

kde:

$$P_i = R_i - R \text{ pro } R_i - R > 0 \text{ a } P_i = 0 \quad (4)$$

Průměrná hloubka proláklín MV

Je počítána jako průměr z odchylek profilů pod referenční hodnotou R (často je $R = R_a$). Je dána jako průměrná hloubka proláklín $V_i, i = Nv$,

$$V_i = R - R_i \text{ pro } R - R_i > 0 \text{ a } V_i = 0 \quad (5)$$

Proměnné výška vrcholů a hloubka proláklín dávají informaci o složitosti profilu. Vyjímečně vrcholy nebo proláklíny zde nejsou uvažovány, ale jsou užitečné v tribologických aplikacích.

Průměrný čtverec směrnice povrchu PSC

$$PSC = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_j \left(\frac{dR(x)}{dx} \right)_j^2} \quad (6)$$

V programu DRSNOST v Matlabu se derivace nahrazují diferencemi. Pokud není definovaná vzdálenost mezi volenými záznamy, volí se $ds=1$.

Průměrná křivost profilu PC

Tato veličina je často nazývaná zvlnění profilu a je definována:

$$PC = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_j \left(\frac{d^2 R(x)}{dx^2} \right)_j^2} \quad (7)$$

PSC a PC jsou parametry charakterizující tvar profilu. Jsou také významné pro tribologické aplikace a pro rozptyl záření. Nižší hodnota směrnice znamená menší tření a opotřebení.

Průměrná šikmost profilu MS

Je dána:

$$MS = \frac{1}{M} \sum_j \left| \frac{dR(x)}{dx} \right|_j \quad (8)$$

Průměrná šikmost je důležitá proměnná v mnoha aplikacích jako např. u odhadu smykového tření a při odrazivosti světla od povrchů.

Deseti bodový průměr TP

Tato hodnota je definována jako průměrná odchylka mezi pěti nejvyššími hodnotami vrcholů a pěti nejhlubšími proláklami profilu povrchu. Hodnota deseti bodového průměru je citlivá na výskyt vysokých vrcholů a hlubokých prolákl (extrémů) v povrchu a používá se pro účel hodnocení jakosti.

Uvedené parametry jsou vhodné pro určení funkčnosti povrchů např. pro charakterizace chování povrchů, zadržování vlhkosti a pro jiné významné vlastnosti. Pro parametr omaku bude pravděpodobně nejlepší použít vlnitost. Parametry šikmosti a zakřivení mohou být využívány pro výpočet výkonové spektrální hustoty fraktálního povrchu, autokorelační funkce nebo variogramu.

Soubor parametrů pro popis profilů a povrchů lze doplnit o další skupiny parametrů:

- statistické parametry výškového rozdělení (různorodost, odchylka, nesouměrnost, exces)
- prostorové parametry jako autokorelace nebo variogram
- funkční parametry (spojené s vlastností zadržení vlhkosti)

Existuje obrovské množství empirických profilů a parametrů drsností povrchů, které se často vyhovující ve velmi speciálních situacích. Některé z nich jsou spojené s vypočítanými parametry z fraktálních modelů. Kompletní topografie povrchu je často rozdělena do tří komponentů v závislosti na vlnové délce (nebo frekvenci).

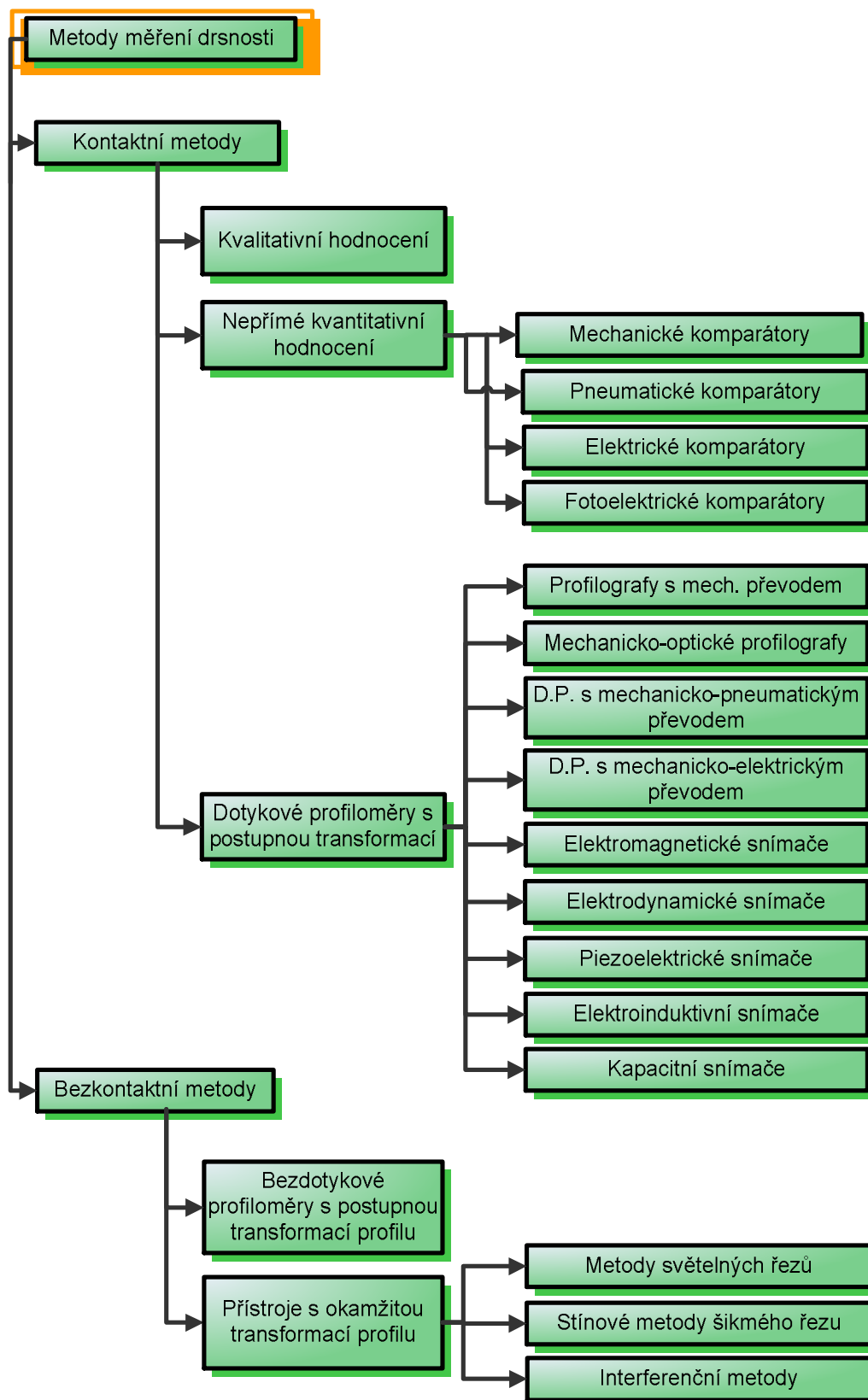
- Odchylka rozsahu dlouhé vlnové délky (nízká frekvence) je označena jako tvar. Tento dílčí tvar je odstraněn pomocí použití složených modelů nebo modelů založených na podobě tvaru.
- Odchylka rozsahu malé vlnové délky (vysoká frekvence) je označována, jako drsnost.
- Odchylka rozsahu střední vlnové délky se označuje jako zvlnění.

Nejjednodušší možnost oddělení drsnosti od zvlnění, je pomocí spektrální analýzy. Tato analýza je založena na Fourierově transformaci z prostorové oblasti d do frekvenční oblasti.

Pro výpočet výše zmíněných parametrů byl vytvořen program DRSNOST v programu Matlab. Jsou počítány následující parametry:

1. **MAD** - průměrná absolutní odchylka
2. **MS** – průměrná šikmost profilu (počítáno pro $ds = 1$)
3. **PSC** – průměrný čtverec profilu (počítáno pro $ds = 1$)
4. **PC** – průměrná křivost profilu (počítáno pro $ds = 1$)
5. **TP** - Desetibodový průměr
6. **CV** - Variační koeficient výšky profilu
7. **D_F** - průměrný fraktální objem
8. **D_{Fp}** – počáteční hodnota fraktálního rozměru (hodnota pro prvních 12 bodů kromě prvních třech, které se nachází blízko počátku)

2.3. Metody měření drsnosti netextilních materiálů – strojních součástí



Obr. č. 1: Schéma rozdělení metod měření drsnosti

2.3.1. Kontaktní metody měření drsnosti

Kvalitativní hodnocení drsnosti povrchu

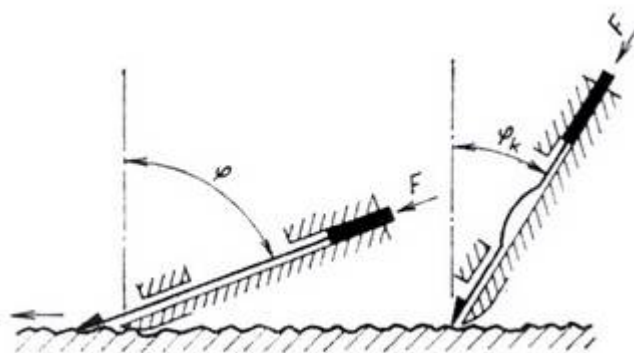
Při kvalitativním posuzování se určuje drsnost povrchu lidskými smysly, tj. porovnáním kontrolovaného povrchu se vzorovými plochami zrakem a hmatem, popř. vizuálně jednoduchými optickými pomůckami, jako jsou lupy a komparační mikroskopy. Příkladem takového hodnocení jsou např. vzorkovnice drsnosti povrchu pro strojírenskou výrobu, vzorkovnice drsnosti povrchu odlitků, atd.

Spolehlivost posuzování podle vzorkových ploch je omezena rozlišovací schopností lidských smyslům popř. fyzikálními vlastnostmi pomůcek např. mikroskopů, které se někdy používají pro zvyšování spolehlivosti.

Nepřímé kvantitativní měření drsnosti povrchu

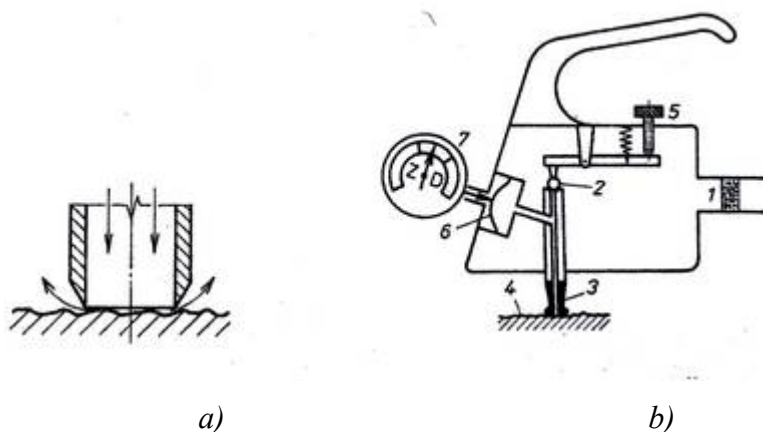
Při tomto měření se porovnává kontrolovaná plocha se vzorovými komparačními přístroji, založenými na různých fyzikálních principech. Výsledkem je obvykle kvantitativní analogový údaj rozdílu drsnosti porovnávaných povrchů.

Mechanické komparátory – Princip tohoto typu přístrojů spočívá v tom, že působí-li se osovou silou na úzkou planžetu zakončenou dotykem ze slinutého karbidu, skloněnou pod malým úhlem k měřenému drsnému povrchu, dotyk po povrchu klouže. Při určitém kritickém úhlu sklonu se planžeta náhle prohne. Tento úhel se odečte relativně přesně v pětinasobném zvětšení na ukazateli ovládaném kyvadlem.



Obr. č. 2: Princip mechanického indikátoru drsnosti

Pneumatické komparátory – U pneumatických komparátorů se na vzorový a kontrolovaný povrch pokládá měřicí tryska s ostrým břitem. Mezi její hranou a vrcholy nerovností povrchu vznikají menší nebo větší mezery, kterými uniká stlačený vzduch přiváděný tryskou. Rozdíly tlaku nebo průtoku vzduchu se měří manometry nebo plováчковými průtokoměry. [1]



Obr. č. 3: Schéma pneumatických komparátorů drsnosti povrchu

Elektrické komparátory - U elektrických kapacitních komparátorů se s drsností měřeného povrchu mění kapacita měřicího kondenzátoru.

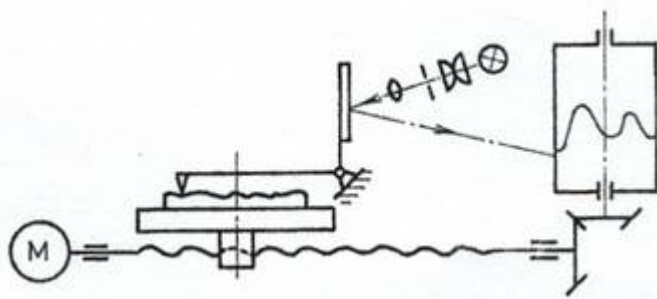
Fotoelektrické komparátory - Tyto komparátory jsou také známé jako leskoměry. Tyto přístroje měří intenzitu rozptýleného nebo odraženého světla. Intenzita odraženého světla je vázána na geometrické nerovnosti povrchu a za určitých předpokladů může být měřítkem drsnosti povrchu.

Dotykové profiloměry s postupnou transformací profilu

Dotykové profiloměry patří do skupiny přístrojů s postupnou transformací profilu. Po měřeném povrchu se posouvá rovnoměrnou rychlostí měřící dotek s velmi malým zaoblením hrotu, případně se posouvá kontrolovaná plocha pod měřícím hrotem. Změny výškové polohy měřícího hrotu, způsobené nerovnostmi povrchu, se mnohonásobně zvětšují některým z fyzikálních principů. Tyto změny se buď zaznamenávají ve tvaru profilogramů, nebo se u elektrických metod převádějí na analogové změny napětí nebo indukčnosti. Změny elektrického signálu jež umožňují snadné vyhodnocení jedné nebo libovolného počtu charakteristik drsnosti povrchu, definovaných v normách.

Dotykové profilografy s mechanickým převodem - Jako příklad přístrojů s čistě mechanickým převodem tvaru profilu lze uvést indikátory drsnosti povrchu podle prof. Woxena. Výšková poloha měřícího hrotu s poloměrem zakřivení 1 až 2 μm je měřena speciálním mikrokátorem se seřiditelnou měřící silou 1 až 2 mN a se stupnicí s dělením po 0,1 μm . Celkový rozsah měření je do 4 μm . Měří se krokovým způsobem. Pákovým převodem je zdvihán měřící hrot a současně je posouván mikrometrickým šroubem stolek s měřenou součástí o 5 až 10 μm . Ze záznamu naměřených hodnot je možné nakreslit profil měřeného povrchu.

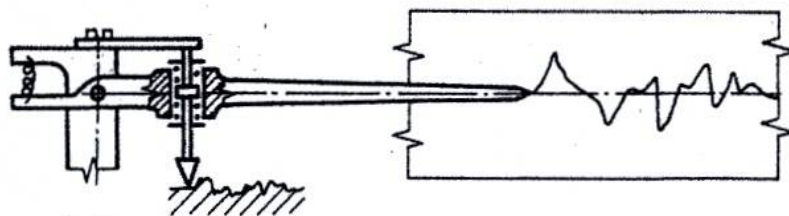
. Mechanicko – optické dotykové profilografy- U dotykových profilografů s mechanicko – optickým převodem se naklání měřící hrot při změně polohy přes pákový převod zrcátko a tím vychyluje odražený světelný paprsek, který vytváří na fotografickém materiálu zvětšený obraz profilu povrchu.



Obr. č. 4: Princip mechanicko-optických profilografů

Dotykové profilografy s mechanicko – pneumatickým převodem – na zcela pneumatickém principu od přenosu pohybu měřicího hrotu až po grafický záznam byly vyvinuty přístroje, na kterých mohly být pořízeny profilogramy při výškovém zvětšení 500 až 20 000 : 1 a při podélném 400 : 1. Používání těchto pneumatických přístrojů se v praxi nerozšířilo.

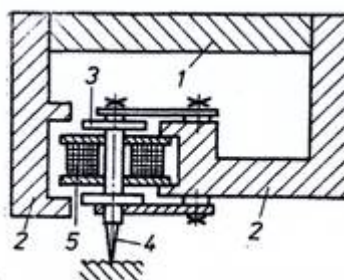
Dotykové profilografy s mechanické – elektrickým převodem – Princip spočívá v tom, že změny polohy měřicího hrotu převádí snímač na analogové změny elektrického napětí nebo indukčnosti. Tyto elektrické signály lze již zpracovat v nejrůznějších elektronických obvodech.



Obr. č. 5: Pákový model funkce snímačů drsnosti povrchu generátorového typu

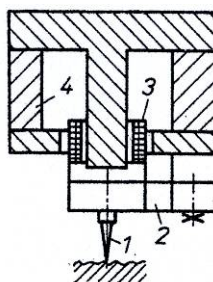
U snímačů generátorového typu obr.č. 5 sleduje páka uvedeného funkčního modelu pouze rychlé pohyby měřicího hrotu a obě pružiny naznačeného tlumiče působí jako tuhá spojka. Při pomalých změnách polohy hrotu, například na vlnitém povrchu a na plochách s rozsáhlejšími výstupky nebo prohlubněmi, by měli naopak obě pružiny tlumiče včas vyrovnávat změny tlaku a tlačít stále rameno páky do střední polohy. Záznam profilu by byl v takovém případě zkreslený.

Elektromagnetické snímače- magnetický obvod je tvořen permanentním magnetem 1 a pólovými nástavci 2. Ve vzduchové mezeře pólových nástavců kmitá železná kotva 3 vedená planžetovým přímovodem, vychylovaná měřícím hrotem 4. Pohyb kotvy způsobuje v pevné cívce 5 změnu magnetického toku. Tím se indukuje v závitech cívky elektrické napětí, úměrné změně rychlosti pohybu měřicího hrotu. Výhodou je malá hmotnost pohyblivé části snímače a dobrá odolnost proti mechanickému poškození.



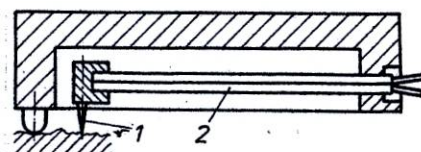
Obr.č. 6: Schéma elektromagnetického snímače

Elektrodynamické snímače – Měřicí hrot 1 vedený planžetovým přímovodem 2 je pevně spojen s cívkou 3, která může volně kmitat ve vzduchové mezeře silného permanentního magnetu 4 s pólovými nastavci. Při pohybu cívky v magnetickém poli vzniká v jejích závitěch elektromotorická síla úměrná rychlosti změn indukčního toku. Výstupní elektrické napětí snímače je tedy závislé na změnách rychlosti pohybu měřicího hrotu.



Obr. č. 7: Schéma elektrodynamického snímače

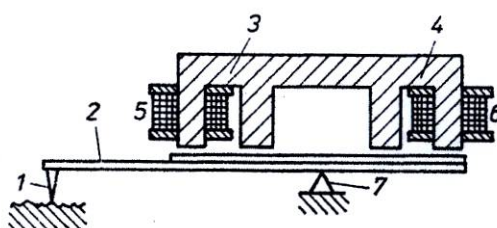
Piezoelektrické snímače – Piezoelektrické snímače jsou generátorového typu. Destičky vyříznuté z krystalů některých látek, např. z krystalů křemene nebo titanu, nebo zhotovené ze zvláštních keramických materiálů, mají při namáhání ohybem nebo tlakem na opačných stranách opačné elektrické náboje. U těchto snímačů deformuje měřicí hrot 1 buď přímo, nebo přes pákový převod destičku z piezoelektrického materiálu 2. Elektrické napětí úměrné namáhání destiček je snímáno na jejich polepech z vodivého materiálu.



Obr. č. 8: Schéma piezoelektrického snímače

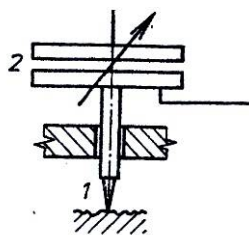
Elektroinduktivní snímače – Princip těchto snímačů spočívá v tom, že změna polohy měřicího hrotu způsobuje změnu impedance elektrického obvodu, nejčastěji indukčnosti.

Princip elektroinduktivního snímače: měřící hrot 1 při posouvání snímače mění sklon dvouramenné páky 2 a tím i velikost vzduchové mezery mezi magnetickým obvodem 3 a 4 a indukčností 5 a 6. Otočný bod 7 páky je volen tak, aby se při změně jejího sklonu zvětšovala vzduchová mezera jedné indukčnosti, a u druhé se o stejnou hodnotu zmenšovala.



Obr. č. 9 : Schéma elektroinduktivního snímače

Kapacitní snímače - Hlavní části tohoto snímače jsou dvě dokonale izolované destičky z elektricky vodivého materiálu tvořící měřící kondenzátor 2. Pohybem měřicího hrotu se mění 1 vzdálenost destiček, a tím i kapacita měřicího kondenzátoru. Poněvadž tyto změny kapacity jsou velmi malé, používá se vždy můstkového zapojení kapacitního snímače kompenzační metodou.



Obr. č. 10: Schéma kapacitního snímače

2.3.2. Bezkontaktní metody měření drsnosti

Bezdotykové profiloměry s postupnou transformací profilu

Tyto metody jsou založeny na bezdotykových profiloměrech na principu analýzy koherentních světelných paprsků laserů, odražených od kontrolovaného povrchu.

Bezdotykový způsob měření je považován za důležitý pro měření drsnosti rychle se pohybujících povrchů, například při obrábění na obráběcích strojích a pro využití u adaptivních systémů obrábění nebo pro měření drsnosti povrchu u pružných materiálů.

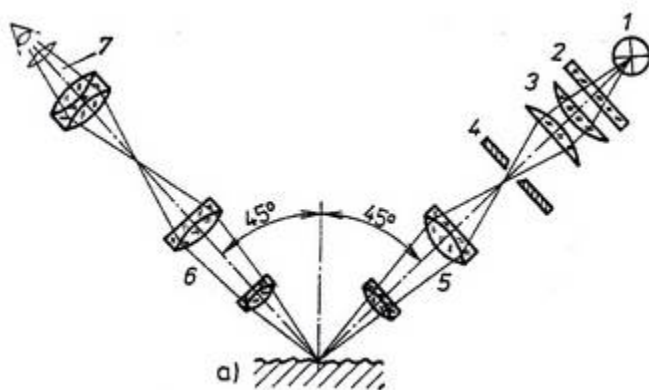
Přístroje s okamžitou transformací profilu

Měřicí přístroje a metody měření drsnosti povrchu na principu okamžité transformace profilu patří většinou do skupiny optických měřících metod. Výhodou čistě optických metod je, že jsou bezdotykové a nepoškozují kontrolovaný povrch a některými z nich je možné posuzovat současně větší část povrchu. Výsledkem měření většiny metod této skupiny jsou zvětšené obrazy profilů šikmých řezů nerovností povrchu.

Metody světelných řezů – Základní schéma přístrojů pro měření drsnosti povrchu optickou metodou světelného řezu je na obr. 11. Na sloupu masivního stojanu je výškově a otočně přestavitelné rameno s osvětlovacím a pozorovacím mikroskopem, jejichž optické osy svírají 90°.

Ze zdroje světla 1 procházejí paprsky zeleným filtrem 2 a kondenzorem 3. Rovnoběžný svazek paprsků je omezen štěrbinou 4 do tvaru velmi tenké světelné roviny a je promítán soustavou čoček objektivu 5 pod úhlem 45° na měřený povrch. Průnikem světelné roviny nerovnostmi povrchu vznikne obraz profilu šikmého řezu nerovností plochy, který se pozoruje druhým mikroskopem 6, se stejnými optickými

vlastnostmi, jaké má osvětlovací mikroskop. V zorném poli měřicího okuláru 7 má světelný řez tvar úzkého zvlněného zeleného proužku ve tmavém poli. Optické zvětšení mikroskopického obrazu se mění výměnnými páry objektivů 5,6. Měřicí okulár má skleněnou destičku s nitkovým křížem a pomocnou stupnicí s milimetrovým dělením, orientovanou k nitkovému kříži pod úhlem 45° . Tato destička se posouvá mikrometrickým šroubem ve směru skloněném pod úhlem 45° k vláknům nitkového kříže.

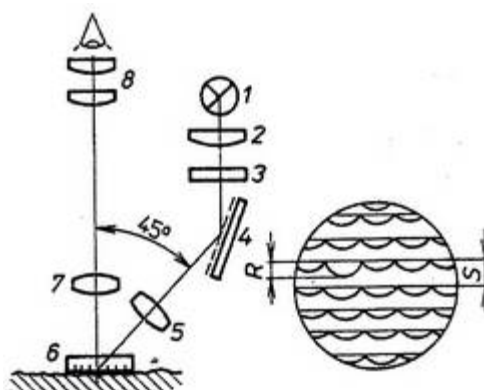


Obr. č. 11: Schéma dvojitého mikroskopu pro měření drsnosti povrchu metodou světelného řezu

Na bubínku mikrometrického šroubu je stupnice s dělením po 0,01 mm. Natáčením měřicího okuláru lze nastavit různou polohu nitkového kříže k proměřovanému profilu. Vzhledem k tomu, že hloubka ostroty mikroskopů je malá, zaostřuje se pouze jedna strana obrazu světelné štěrbině a na tomto profilu výšky nerovností povrchu.

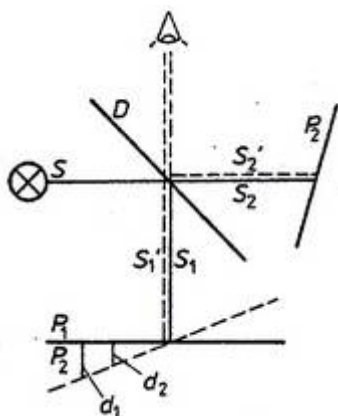
Stínové metody šikmého řezu – Ze světelného zdroje 1 procházejí světelné paprsky kondenzorem 2 a zeleným filtrem 3 na zrcátko 4, které odráží svazek rovnoběžných paprsků pod úhlem 45° na testovou destičku, položenou neproměřovaném povrchu.

Na výměnných testových destičkách jsou vyryty tenké rovnoběžné rysky s určitou konstantní vzdáleností např. 10, 20, 50, 100 μm . Testová destička se pokládá plochou s vyrytými ryskami na měřenou plochu ve směru kolmém na stopy po obrábění. Stíny rysek vytvoří soustavu rovnoběžných profilů šikmých řezů nerovností povrchu. Rysky testové destičky a stínové obrazy profilů se pozorují mikroskopem 7 a 8 s optickou osou kolmou s povrchu součástí.



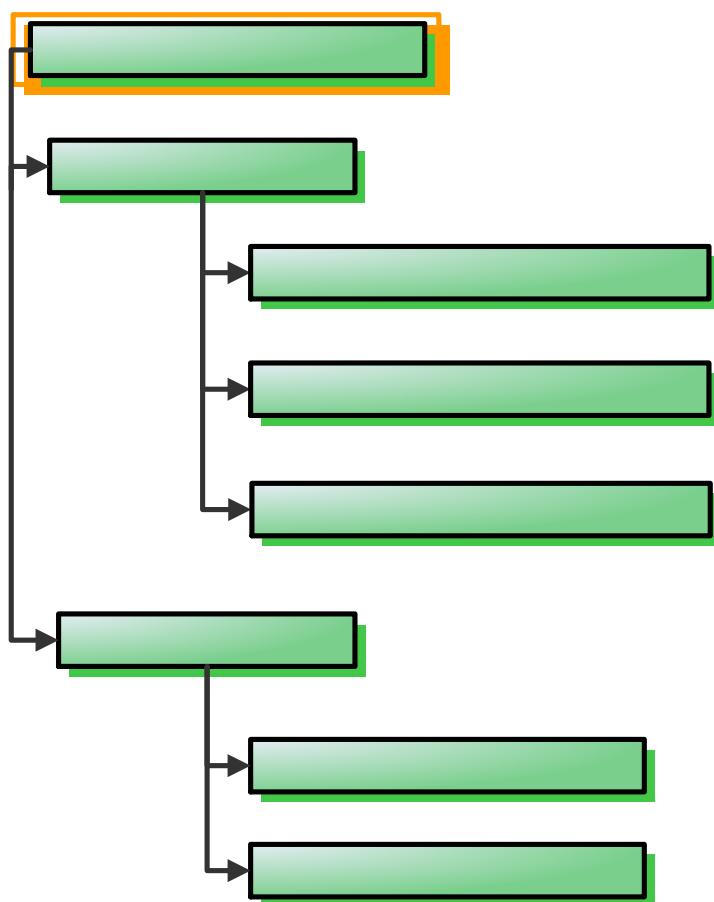
Obr. č. 12: Schéma mikroskopu pro měření stínovou metodou šikmého řezu

Interferenční metody měření drsnosti povrchu – Tyto metody se používají pro měření velmi jemných povrchů např. broušených nebo leštěných, protože těchto případech je zapotřebí měřit nerovnosti povrchu menší než $1\ \mu\text{m}$. Princip a podmínky vzniku světelné interference lze ukázat na schématu 13. Svazek paprsků, vycházejících ze zdroje světla S , je rozdělen na polopropustné rovině D hranolu do dvou koherentních svazků S_1 a S_2 (tj. mají stejnou vlnovou délku a stejnou frekvenci), které se odrazí od plochy P_1 (měřená plocha) a P_2 (přesné rovinné zrcadlo). Odražené paprsky S'_1 a S'_2 se znovu skládají na dělící rovině D . Je-li rozdíl drah paprsků S'_1 a S'_2 roven polovině vlnové délky použitého monochromatického světla $\lambda/2$ nebo lichému násobku $\lambda/2$, vytvoří se v zorném poli interferenčního mikroskopu tmavé body, které se spojí v souvislé interferenční čáry. Protože lze vlnění považovat za tlumené kmity, jejichž amplituda klesá s délkou jejich dráhy, nesmí být rozdíl drah dvou koherentních paprsků příliš velký (pro bílé světlo maximálně $\Delta L = 2\ \lambda$) a jejich amplituda musí být přibližně stejná, aby vůbec mohly vzniknout tmavé body interferenční čáry.[1]



Obr. č. 13 : Princip interferenční metody měření drsnosti povrchu

2.4. Metody měření drsnosti textilních materiálů



Obr. č. 14: Schéma rozdělení metod měření drsnosti textilií

2.4.1. Kontaktní metody měření drsnosti textilií

KES (Kawabata Evaluation System)

Tento systém byl sestaven Kawabatou v roce 1980. Je to sada 4 přístrojů, které měří 15 charakteristik. Tyto charakteristiky jsou rozděleny do 5 skupin – tahové, smykové, ohybové, objemové a povrchové. 16. charakteristikou, používanou při predikci omaku je plošná hmotnost. Systém KES byl vytvořen pro objektivní predikci omaku textilií. Výsledkem měření výše uvedených charakteristik je výsledná hodnota omaku – THV (total hand value). Drsnost textilií je měřena na jednom ze soupravy přístrojů – KES-FB4.

Princip této metody je založen na měření profilu povrchu s použitím dvou dotekových čidel – snímačů. Snímače jsou tvořeny ocelovým drátem o průměru 0,5 mm a pohybují se konstantní rychlostí 1 mm/s. Jedno čidlo snímá koeficient tření, druhé geometrickou drsnost. Profil SHV dráhy se graficky zaznamenává na připojeném softwaru. [3,5]

Metoda měření KES-FB4 je podrobně popsána v experimentální části.



Obr. č.15: KES-FB 4 – systém pro hodnocení povrchových charakteristik

Tloušťkoměr SDL M 034/1

Krokový tloušťkoměr je využíván na katedře materiálů TUL. Tento přístroj se standardně používá pro měření tloušťky materiálů. Princip snímání profilu povrchu je založen na měření tloušťky v určitých intervalech.

Princip měření:

Tloušťkoměr je vybaven odtahovým válečkem, který protahuje materiál přítlačnou patkou. Rychlost odtahu určuje uživatel a je závislá na typu měřeného materiálu. Snímač, na který působí přítlak kopíruje profil textilie a měří tloušťku materiálu. K zařízení je připojený software, který zaznamenává údaje o délce a tloušťce materiálu a ukládá jí do paměti. (Tloušťkoměr měří změnu tloušťky materiálu po jeho délce, odtahový váleček protahuje materiál rychlostí zvolenou uživatelem a měnič měří tloušťku).

Výstupními hodnotami tloušťkoměru je záznam tloušťky v závislosti na délce. Tento záznam tloušťky [mm] tvoří vstupní data do programu DRSNOST v Matlabu, který je zpracovává do statistických parametrů, které charakterizují povrchovou drsnost. [7]



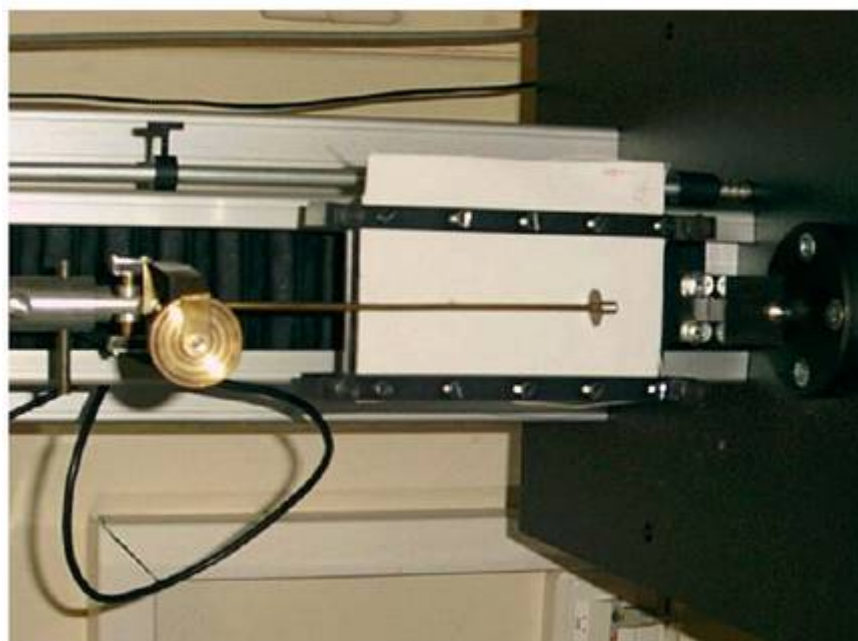
Obr. č. 16: Tloušťkoměr SDL M 034/1

Přídavné zařízení k dynamometru

K dynamometru značky TIRATEST bylo zkonstruováno přídavné zařízení. Principem je záznam odporu síly potřebné k pohybu bříty po povrchu textilie.

Získanými hodnotami je profil kolísání síly SFV, který by měl být úměrný výsledku z přímého měření profilu výšky SHV dráhy. Pro zajištění dobrého kontaktu bříty s textilií byly na základě počátečních testů stanoveny tyto podmínky: zatížení bříty: 0,2 N a rychlost pohybu ostří: 0,66 mm/s. [3] Kolísání síly je graficky a číselně zaznamenáváno připojeným softwarem.

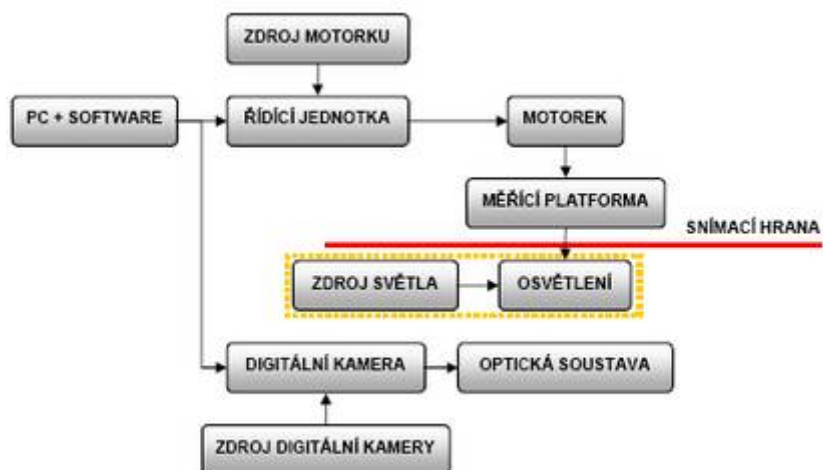
Výstupními hodnotami je záznam síly potřebné k pohybu bříty, který tvoří vstupní data do programu DRSNOST v Matlabu. Tyto data jsou zpracována do statistických charakteristik povrchové drsnosti. [8]



Obr. č. 17: Přídavné zařízení k dynamometru značky TIRATEST

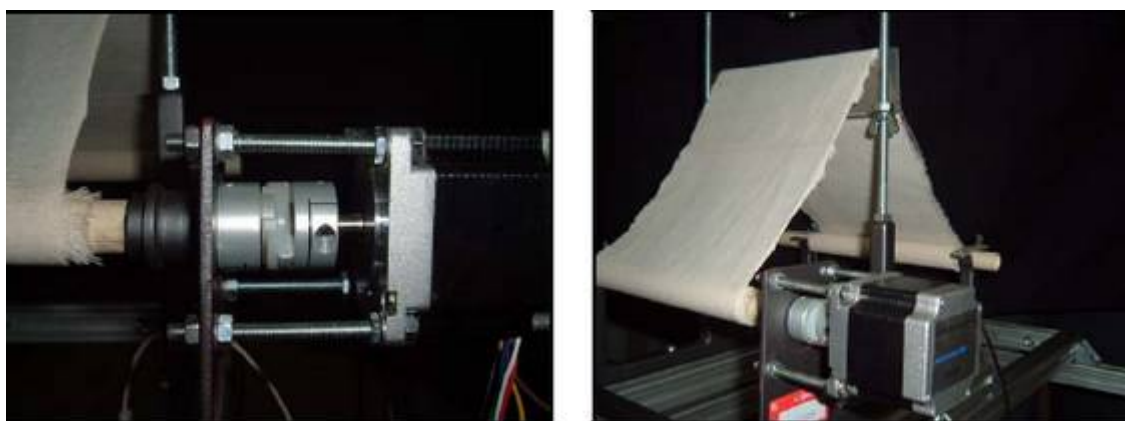
2.4.2. Bezkontaktní metody měření drsnosti textilních materiálů

RCM Systém



Obr. č. 18: Schéma jednotlivých částí RCM systému

Tato metoda představuje bezkontaktní systém pro měření povrchových charakteristik textilních útvarů. Mezi povrchové charakteristiky patří drsnost, reliéf, chlupatost, barevnost atd. systém je založen na propojení a synchronizaci několika přístrojů, které jsou centrálně napojené a ovládané jedním řídicím počítačem.



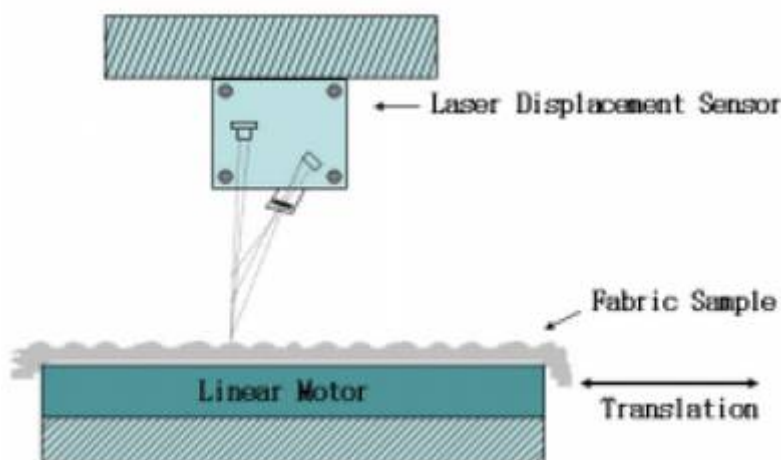
Obr. č. 19: Krokový motorek s rolovacím zařízením

Samotné měření probíhá tak, že zkoumaný materiál je pomocí rolovacího zařízení, umístěného na měřicí platformě a poháněného krokovým motorkem, převíjen přes ostrou hranu, kde dochází ke zvýraznění typických rysů a parametrů textilie.

Materiál je na této hraně snímán pomocí optické soustavy s digitální kamerou propojenou s řídicím počítačem. Osvětlení hrany je zajištěno horním osvitem umístěným nad měřicí hranou. Osvětlení je napájeno z regulovatelného zdroje. Posuv měřeného vzorku pomocí krokového motorku je řízen z počítače. Motorek je napájen zdrojem a signál s povely motorku vysílané počítačem jsou předávány přes řídicí jednotku, která předává motorku potřebné elektrické napájení a pohybové signály. Řídicím počítačem lze ovládat pohyb motorku a snímací parametry kamery. Výsledný obraz je přenášen a prezentován v programu pro zpracování, který umožňuje jeho zpracování, vyhodnocení a uložení. [2]

Bezkontaktní měřicí systém drsnosti založený na laserovém posuvném snímači

Tento přístroj měří vzdálenosti mezi textiliemi a sám používá laserové vyměřovací techniky. Světelný paprsek s průměrem 0,3 mm je projektovaný z laserové diody do objektu. Senzor je schopen měřit vzdálenosti s rozlišením 1 μ m. Vzorek látky je umístěn a fixován na konstrukci, která je namontovaná na lineárním motoru. Konstrukce je vybavená lineárním motorem a celý systém je propojený s mikroprocesorem. Za účelem vyrovnat vlnění látky, napětí jsou umístěny na obou koncích tkanin 20gf/cm. Snímač změří drsnost povrchu na 2 cm délky podél osnovy a útku, protože tkaniny jsou anizotropní. Vzorek se pohybuje rychlostí 1mm za sekundu. Data se ukládají rychlostí 200 údajů za sekundu. [4]



Obr. č. 20: Schéma měření drsnosti pomocí laseru

Kde:

Laser Displacement Sensor – laserový posuvný snímač

Fabric Sample – vzorek tkaniny

Translation – směr posuvu

Linear Motor – lineární motor

3.Experimentální část

3.1. Popis použitých vzorků

Pro hodnocení drsnosti textilií bylo použito osm textilních materiálů. Jedná se o textilní síťoviny. 4 materiály byly poskytnuty katedrou textilních materiálů TUL (53S, 130T, 26S, 63M), 4 byly poskytnuty firmou Mega a.s. (PAD, 31HD, PP21, PES). Vzorky síťovin jsou uvedeny v příloze č. 1

3.1.1 Parametry použitých materiálů

Parametry tkanin							
vzorek	materiál	dostava [cm ⁻¹]		jemnost monoofilu [tex]		vazba	tloušťka [mm]
		osnova	útek	osnova	útek		
130T	PAD	130	131	1,14	1,28	kepr	0,0673
53S	PAD	53	54	2,25	2,48	plátno	0,0706
PAD	PAD	32	35	2,08	2,37	plátno	0,0826
63M	PAD	64	64	2,47	2,52	plátno	0,0840
PES	PES	32	35	3,47	3,60	plátno	0,0913
PP21	POP	21	22	4,48	4,64	plátno	0,1520
26S	PAD	26	26	8,94	9,52	plátno	0,1820
31HD	PES	31	31	12,18	24,67	kepr	0,2586

Tab. č.1: Parametry tkanin

3.1.2. Měření tloušťky materiálů

Tloušťka materiálů byla měřena podle normy ČSN EN ISO 5084. [6]

Parametry měření: počet měření: 5

tlak: 1 kPa

měřená plocha: 1000 mm²

3.2. Měření drsnosti textilií pomocí KES-FB4

Jak už bylo uvedeno v kapitole 2.4.1 principem KES-FB4 je měření profilu povrchu s použitím dotekového čidla – snímače, který snímá profil dráhy SHV, jež je graficky a číselně zaznamenáván na připojeném softwaru.

Výstupem jsou hodnoty:

MIU - střední hodnota koeficientu tření μ [-]

Je dána vztahem:

$$MIU = \frac{1}{X} \int_0^x \mu dx \quad (9)$$

MMD – střední odchylka koeficientu tření [-]

$$MMD = \frac{1}{X} \int_0^x |\mu - \bar{\mu}| dx \quad (10)$$

kde: X – hodnocená délka posuvu,

μ – koeficient tření v místě x ,

x – posuv planžety po povrchu vzorku

Koeficient tření je definován:

$$\mu = \frac{F}{P} \quad (11)$$

kde: F – třecí síla,

P – normálová síla

Hodnota koeficientu tření během měření výrazně kolísá, proto je definovaná:

$$\mu = \frac{1}{L_{\max}} \int_0^{L_{\max}} \mu dL \quad (12)$$

kde: L – hodnocená délka posuvu,

L_{\max} – maximální hodnocená délka posuvu

SMD – směrodatná odchylka geometrické drsnosti [μm]

$$SMD = \frac{1}{X} \int_0^x |T - \bar{T}| dx \quad (13)$$

kde: X – hodnocená délka posuvu,

μ - koeficient tření v místě x ,

x – posuv planžety po povrchu vzorku

T – tloušťka vzorku v místě x (měřená snímačem)

\bar{T} - průměrná hodnota tloušťky T [9]

3.3. Modifikace snímání dat z KES-FB4

Výstupní hodnoty MIU , MMD a SMD jsou udávány v závislosti na aktuální poloze snímače. Software připojený k zařízení KES-FB4 snímá hodnoty pouze do dvou desetinných míst, což je u řady textilií na úrovni rozlišení.

Proto byl k zařízení připojen notebook s nainstalovaným programem **LabVIEW**, ve kterém byl vytvořen program, umožňující snímat výšky profilu s libovolnou přesností. Pro tento experiment bylo zvoleno snímání hodnot na 6

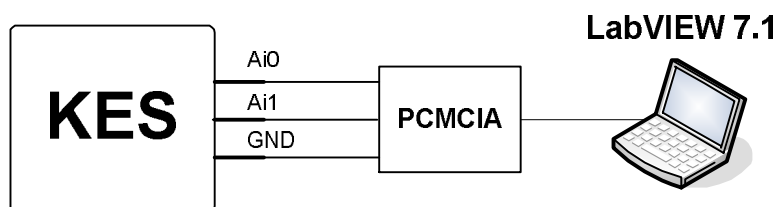
desetiných míst. Schéma programu pro odečítání tohoto signálu je uvedeno v příloze č. 2

Počítač se softwarem LabVIEW byl napojen na KES-FB4 pomocí rozhraní PCMCIA (multifunkční karty), na niž jsou napojeny analogové vstupy.

Ai 0 – napojen na K (x souřadnice)

Ai 1 – napojen na F (y souřadnice)

3 analogový výstup je připojen k GND (uzemění)



Obr. č. 21: Schéma připojení PC se softwarem LabVIEW k přístroji KES-FB4

Pro potřeby měření směrodatné odchylky geometrické drsnosti – měření hodnot *SMD* byl snímán signál z výstupu Ai 1, který snímal osu y.

Po spuštění měření byly současně snímány výšky profilu [μm] původním softwarem KES-FB4 a programem LabVIEW, kterým byl snímán průběh napětí [V] odpovídající kolísání tloušťky.

3.3.1. Podmínky měření

počet měření: 3 x směr osnovy, 3 x směr útku

velikost vzorků: 200 x 200 mm

měřená délka: 20 mm

předpětí: 400 g

statické zatížení : 50g

rychlost snímače. 1mm/s

3.3.2. Zpracování naměřených dat

Výstupní hodnoty - průběh napětí odpovídající kolísání tloušťky v závislosti na aktuální poloze snímače byly naměřeny ve [V]. Pro další zpracování bylo nutné převést je na [μm].

Převodové vztahy:

$$u_{iL} = \frac{x_{iL} - \overline{x_L}}{s_L} \quad [\text{V}] \quad (14)$$

kde: u_{iL} – standardizovaná data z Labview

x_{iL} – naměřené hodnoty SMD – výstupy z programu Labview

$\overline{x_L}$ – průměr z naměřených hodnot SMD – výstupy z programu Labview

s_L – směrodatná odchylka SMD – výstupy z programu Labview

$$R_i = u_{iL} \cdot s_K + \overline{x_K} \quad [\mu\text{m}] \quad (15)$$

kde: R_i – výsledná hodnota SMD po přepočtu z [V] na [μm].

u_{iL} – standardizovaná data z Labview

s_K – směrodatná odchylka SMD – výstupy ze softwaru KES-FB4

$\overline{x_K}$ – průměr z naměřených hodnot SMD – výstupy ze softwaru KES-FB4

Takto získané výšky profilů R_j [μm] tvořily vstupní data do programu DRSNOST v programu Matlab, který je zpracoval do statistických parametrů charakterizujících povrchovou drsnost. Skript pro zpracování získaných dat vytvořený v programu Matlab je uveden v příloze č. 3.

Detailní popis zpracování dat je uveden na obr. č. 22

Statistické parametry:

1. aritmetický průměr povrchových výšek

$$\overline{R_a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (16)$$

2. geometrický průměr povrchových výšek

$$R_a(\text{geom.}) = \sqrt[n]{R_1 \cdot R_2 \dots R_n} \quad (17)$$

3. průměrná absolutní odchylka MAD (viz rovnice č.1)

4. průměrná směrnice profilu MS (viz rovnice č.8)

5. průměrný čtverec směrnice profilu PSC (viz rovnice č.6)

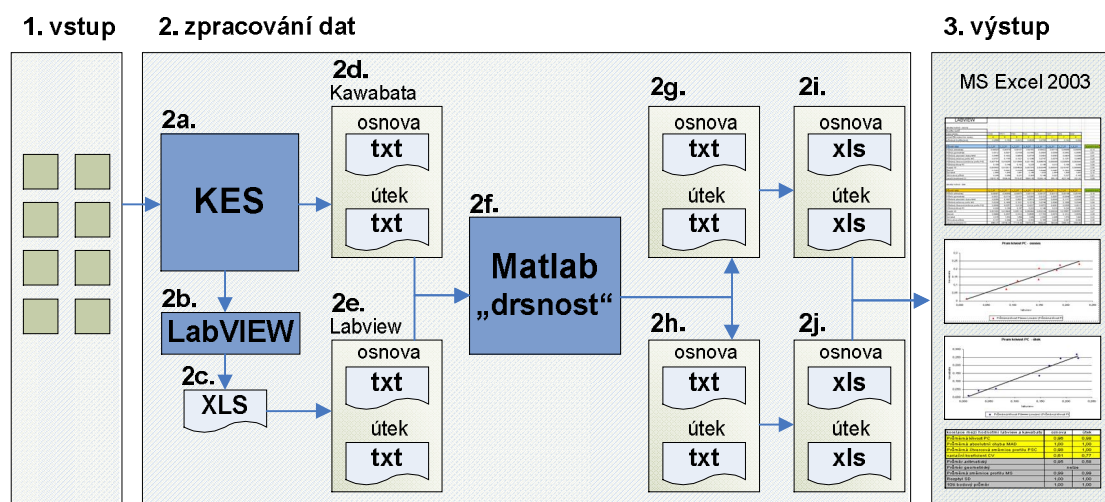
6. průměrná křivost PC (viz rovnice č.7)

7. rozptyl

$$SD^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (R_j - \overline{R_a})^2 \quad (18)$$

8. desetibodový průměr TP – rozdíl mezi pěti nejvyššími hodnotami vrcholů a pěti nejnižšími hodnotami proláklín

9. variační koeficient výšky profilu CV (viz. rovnice č. 3)

3.3.3. Schéma měřicího systému a vyhodnocování získaných dat

Obr. č. 22: Schéma měřicího systému a vyhodnocování získaných dat

Popis schématu:

1. vstup - 8 textilních vzorků viz. tabulka č. 1

2 - zpracování dat

2a - měřicí přístroj KES-FB4 se softwarem

2b – program LabVIEW

2c - úprava naměřených hodnot z programu LabVIEW a přepoččet z [V] na [μm]
v programu MS Excel

2d – úprava naměřených hodnot z KES-FB4 do textového souboru

2e - úprava naměřených hodnot z LabVIEW do textového souboru

2f – zpracování naměřených hodnot v programu DRSNOST v Matlabu

2g – výstupní data z programu Matlab pro KES-FB4 v souboru txt

2h - výstupní data z programu Matlab pro LabVIEW v souboru txt

2i – šablony pro zpracování výstupních dat z programu Matlab – KES-FB4

2j – šablony pro zpracování výstupních dat z programu Matlab – LabVIEW

3 – výstupní soubor

Výstupní soubor byl vytvořen v programu MS Excel a obsahuje tabulky s výslednými statistickými parametry (příloha č. 4), tabulku s vypočítanými korelacemi mezi metodami, grafy porovnání KES-FB4 a LabVIEW pomocí korelace a grafy porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorku.

3.3.4. Porovnání metod pomocí korelace

Pro porovnání výsledků měření obou variant snímání dat byla použita korelační analýza. Korelace ukazuje stupeň lineární závislosti. Výsledkem korelační analýzy je jediné číslo – index, vytvořeno tak, aby na první pohled byla zřejmá závislost mezi veličinami.

Korelační koeficient - r ($-1 \leq r \leq 1$) pro nezávislé veličiny X a Y vyjádřené ve formě odchylek. Korelační koeficient je vyjádřen vztahem:

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2} \sqrt{\sum y^2}} \quad (18)$$

4. Rozbor získaných výsledků

Pro porovnání statistických parametrů charakteristických pro povrchovou drsnost vypočítaných z nasnímaných výšek profilů ze softwaru KES-FB4 a LabVIEW, byly do grafů vyneseny hodnoty všech osmi vzorků, v pořadí od nejtenčího po nejtlustší. Na ose x byly vyneseny hodnoty z programu LabVIEW, na ose y ze softwaru KES-FB4.

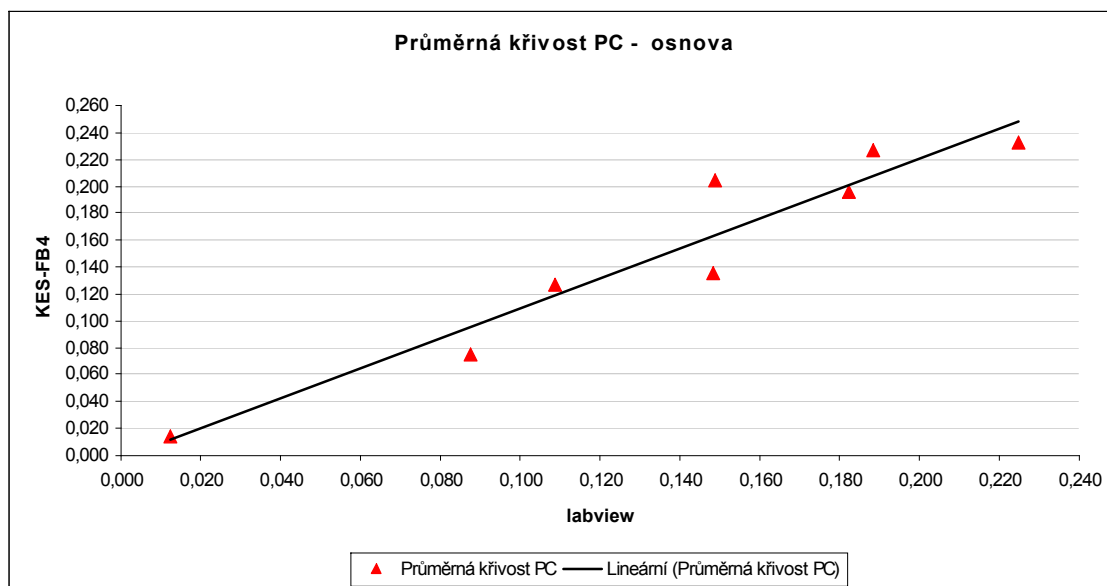
Dále byly pro všechny statistické veličiny vypočítány korelační koeficienty mezi KES-FB4 a LabVIEW, které jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Vybrané statistické veličiny-hodnotící kritéria jsou uvedeny v grafech č. 1 - 10.

Grafy porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorku jsou uvedeny v příloze č. 5.

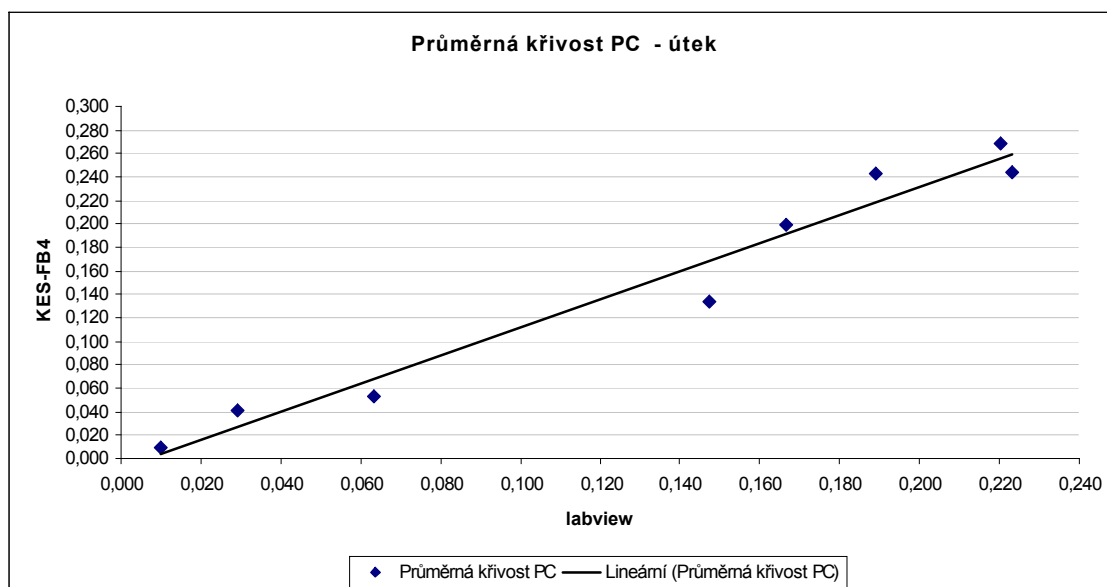
Korelace mezi statistickými veličinami labview / KES-FB4	osnova	útek
Průměrná křivost PC	0,96	0,98
Průměrná absolutní chyba MAD	1,00	1,00
Průměrný čtverec směrnice profilu PSC	0,98	1,00
10ti bodový průměr	1,00	1,00
variační koeficient CV	0,61	0,77
Průměr aritmetický	0,95	0,58
Průměrná směrnice profilu MS	0,99	1,00
Rozptyl SD	1,00	1,00

Tab. č. 2: Korelace mezi statistickými veličinami LabVIEW/KES-FB4



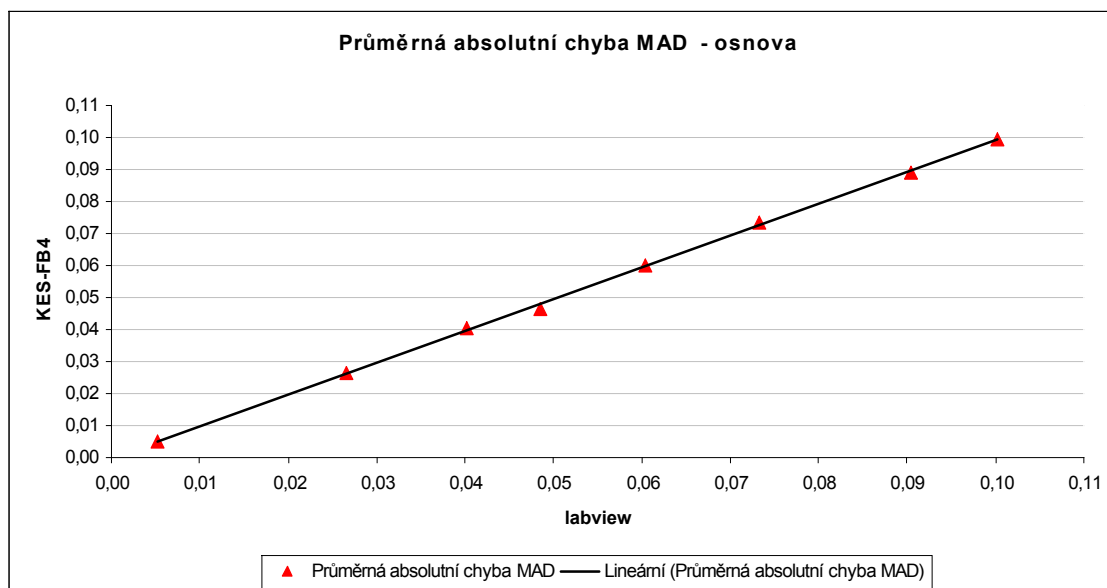
Graf č.1 : Porovnání KES-FB4 a LabVIEW pomocí korelace průměrné křivosti PC-osnova

$r = 0,96$ - lineární závislost



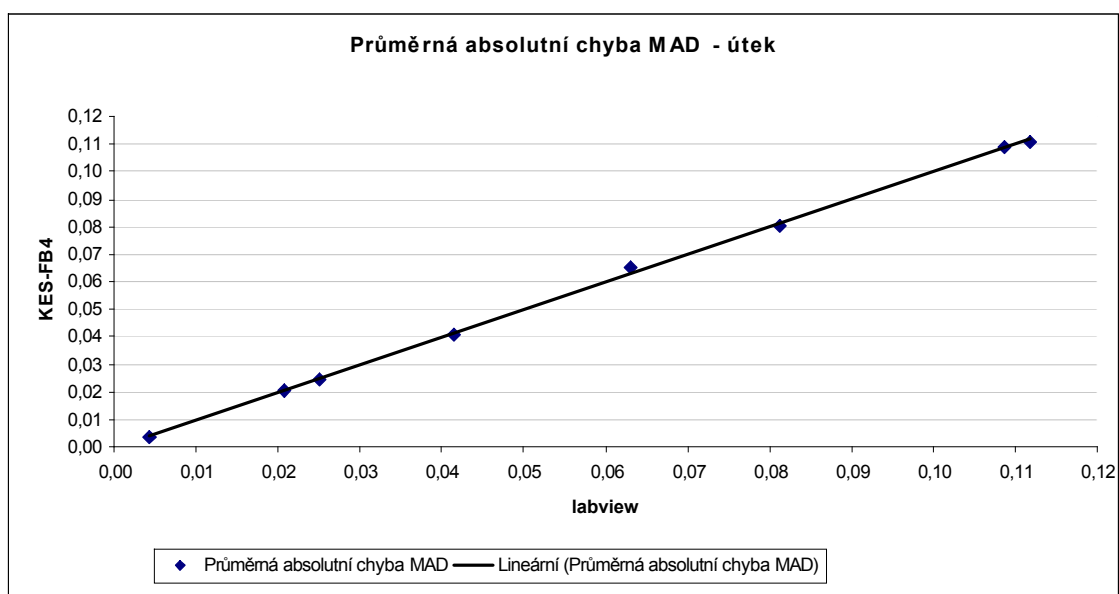
Graf č.2 : Porovnání KES-FB4 a LabVIEW pomocí korelace průměrné křivosti PC - útek

$r = 0,98$ – lineární závislost



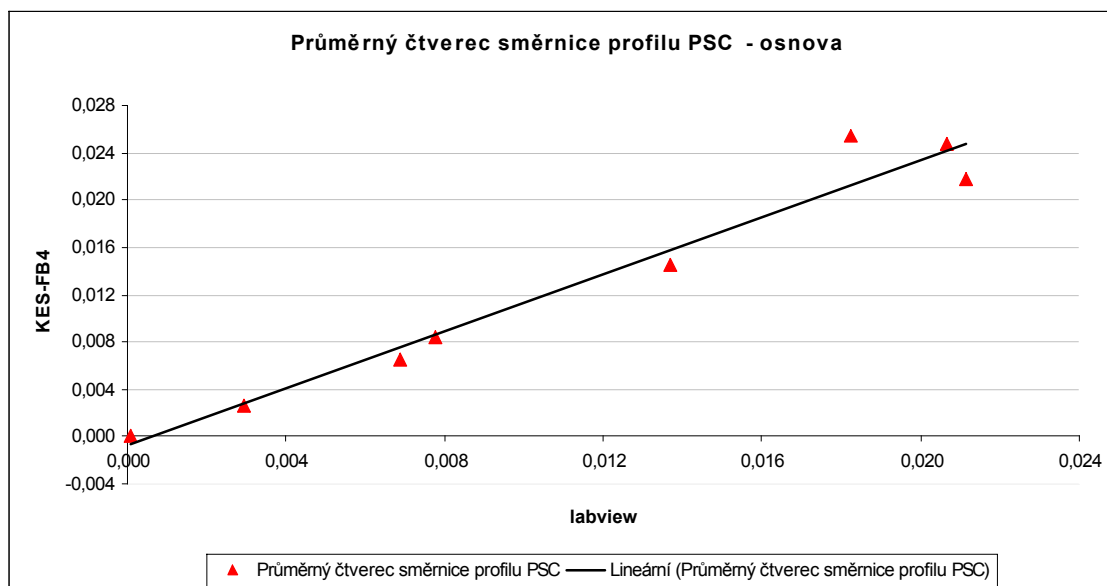
Graf č. 3: Porovnání KES-FB4 a LabVIEW pomocí korelace průměrné absolutní chyby MAD - osnova

$r = 1$ – lineární závislost



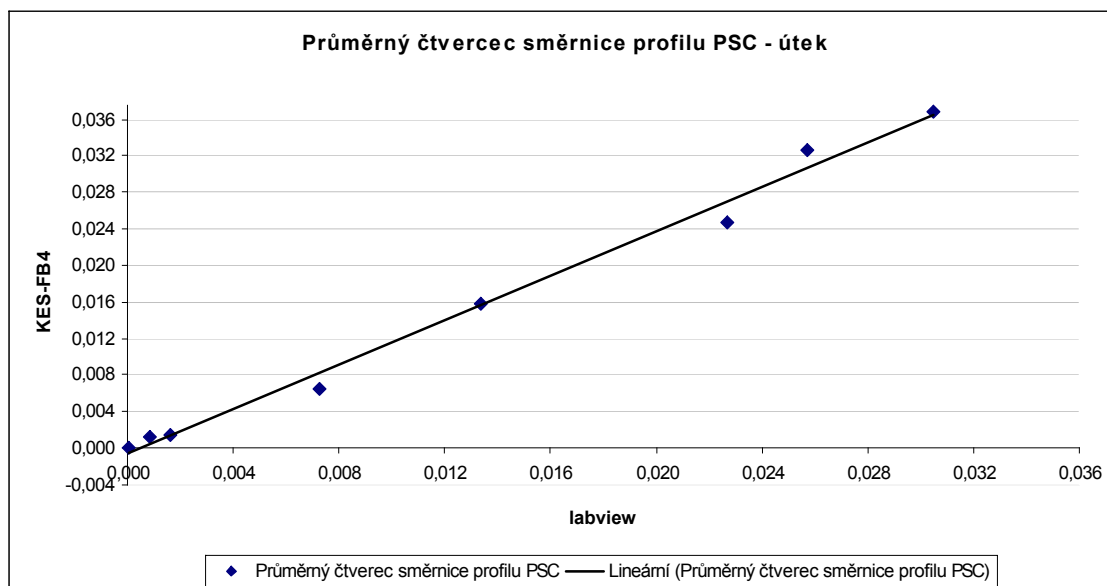
Graf č. 4: Porovnání KES-FB4 a LabVIEW pomocí korelace průměrné absolutní chyby MAD - útek

$r = 1$ – lineární závislost



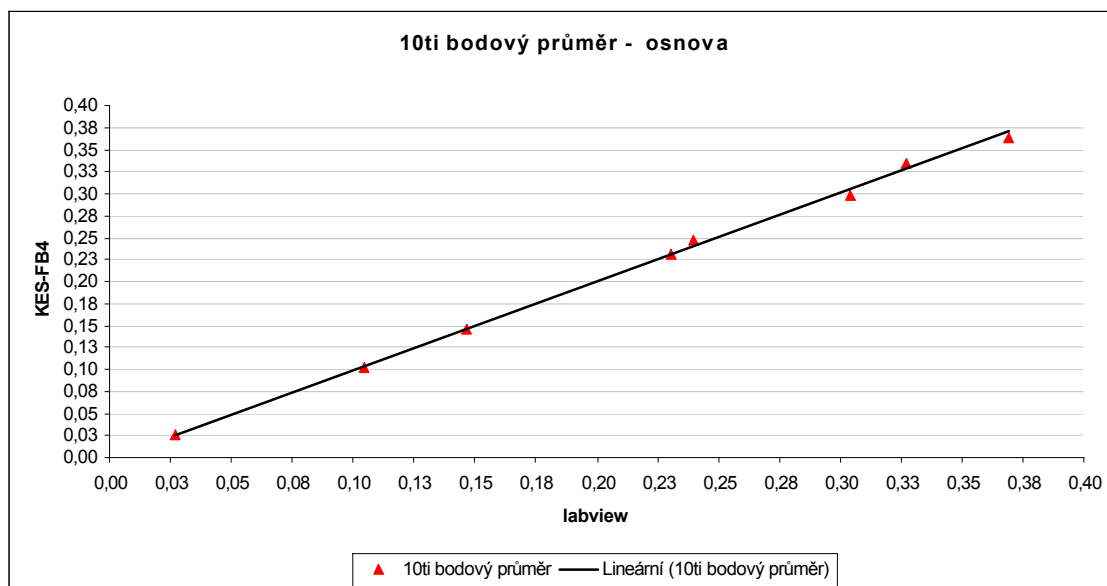
Graf č.5: Porovnání KES-FB4 a LabVIEW pomocí korelace průměrného čtverce směrnice profilu PSC - osnova

$r = 0,98$ – lineární závislost



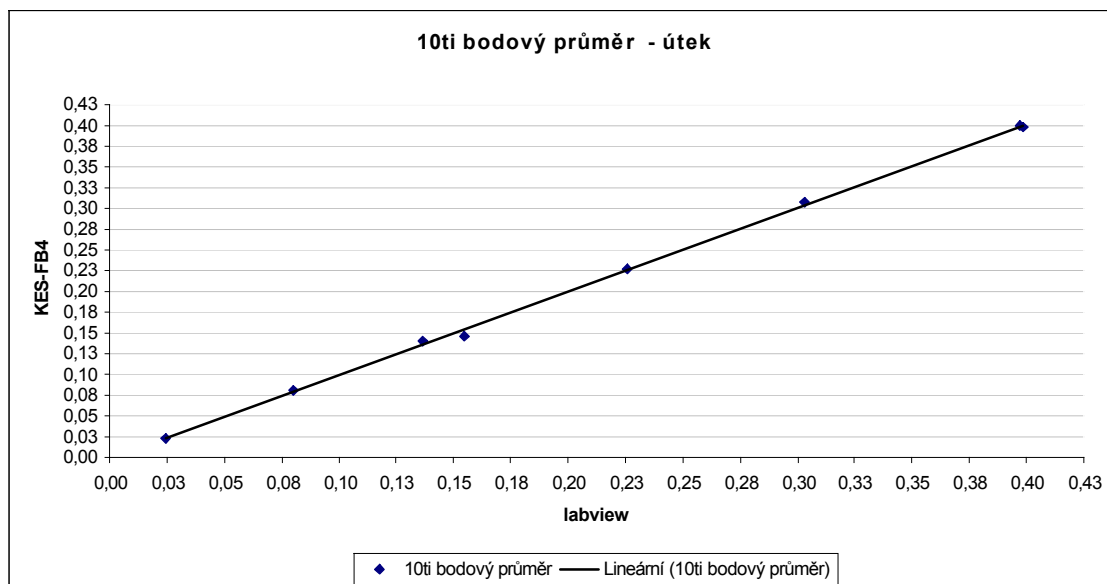
Graf č.6: : Porovnání KES-FB4 a LabVIEW pomocí korelace průměrného čtverce směrnice profilu PSC - útek

$r = 1$ – lineární závislost



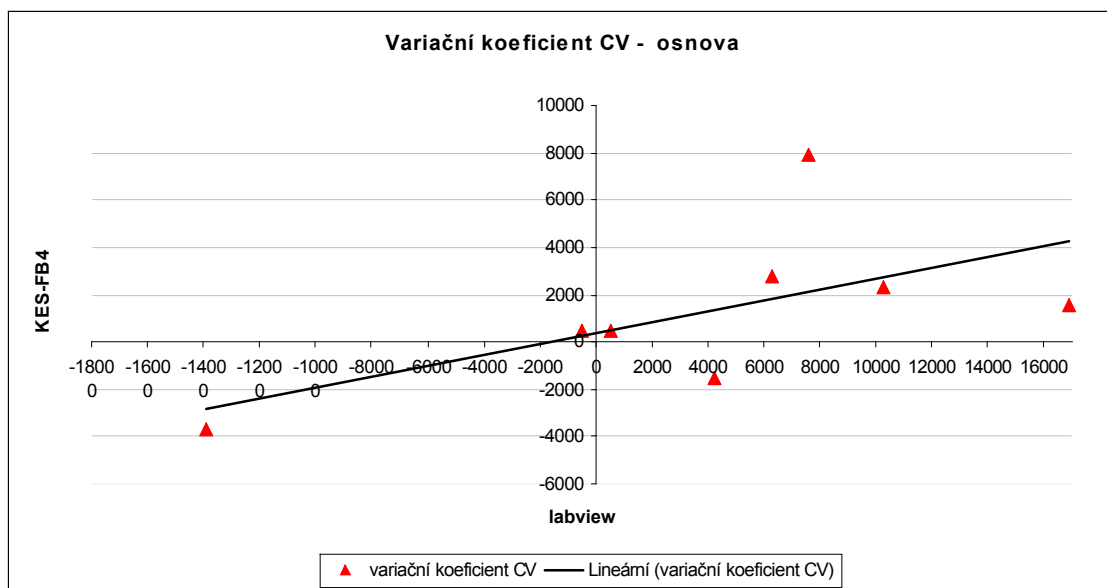
Graf č. 7: Porovnání KES-FB4 a LabVIEW pomocí korelace 10ti bodového průměru - osnova

$r = 1$ – lineární závislost



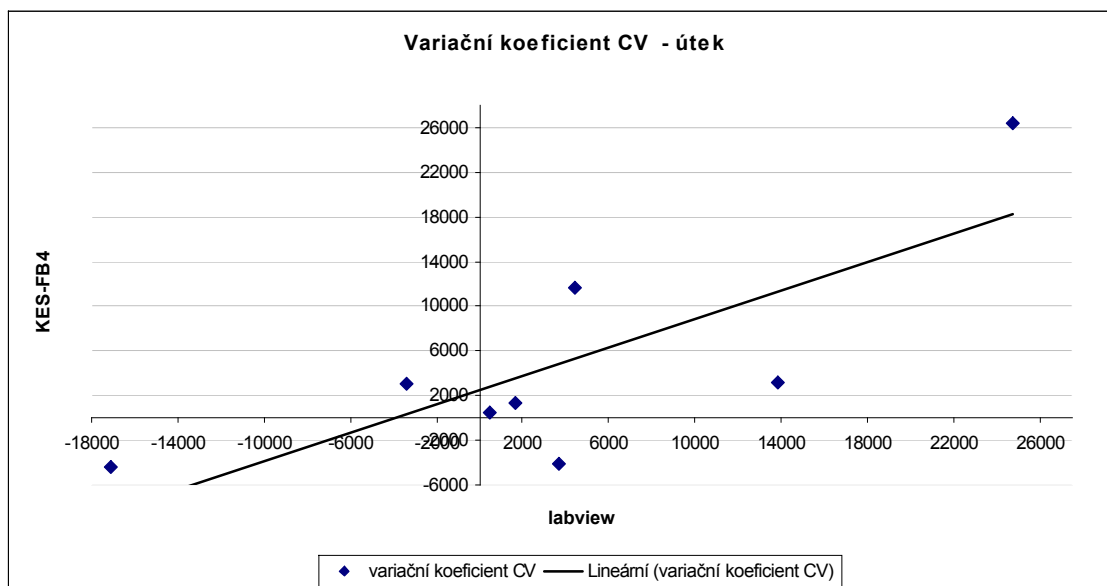
Graf č. 8: Porovnání KES-FB4 a LabVIEW pomocí korelace 10ti bodového průměru - útek

$r = 1$ – lineární závislost



Graf č. 9: Porovnání KES-FB4 a LabVIEW pomocí korelace variačního koeficientu CV - osnova

$r = 0,61$ – silná závislost



Graf č. 10: Porovnání KES-FB4 a LabVIEW pomocí korelace variačního koeficientu CV - útek

$r = 0,77$ – silná závislost

U statistických parametrů průměrná křivost PC, průměrná absolutní chyba MAD, průměrná čtvercová směrnice profilu PSC a 10ti bodový průměr byla zjištěna lineární závislost. U Variačního koeficientu CV byla zjištěna silná závislost.

Z toho vyhodnocení vyplývá, že výstupní hodnoty zjištěné pomocí software LabVIEW jsou lineárně závislé na výstupních hodnotách ze software KES-FB4.

Je tedy zřejmé, že experiment modifikace zařízení KES-FB4 pro zvýšení přesnosti snímání dat pomocí LabVIEW je funkční.

Dále z grafů porovnání statistických veličin v závislosti na tloušťce vzorku uvedených v příloze č. 5 bylo zjištěno, že rozdíly hodnot LabVIEW a KES-FB4 jsou minimální. Přesto můžeme konstatovat, že když programem LabVIEW byly odečítány výšky profilů s přesností na šest desetinných míst a softwarem KES-FB4 pouze na dvě desetinná místa, výsledky získané z programu LabVIEW jsou přesnější.

5. Závěr

V této diplomové práci jsem dospěla k závěru, že výstupní hodnoty programu LabVIEW a KES-FB4 jsou na sobě lineárně závislé, nebo silně závislé. Z této závislosti lze usoudit, že výstupní hodnoty obou metod snímání dat jsou si navzájem velmi podobné. Tato závislost také dokazuje funkčnost experimentu modifikace pro zvýšení přesnosti odečtu dat z přístroje KES-FB4 pomocí programu LabVIEW.

Pro další měření drsnosti na přístroji KES-FB4 navrhuji používat pro odečítání dat program LabVIEW. Je zřejmé, že naměřené hodnoty jsou přesnější díky možnosti odečtu na libovolný počet desetinných míst oproti značně limitujícím dvěma desetinným místům při odečítání pomocí původního programu KES-FB4.

6. Seznam použité literatury

- [1] – Doc. Ing. Bohumil Bumbálek, CSc., Ing. Vladimír Odvody, Prof. Ing. Bohuslav Ošťádal, CSc. – Drsnost povrchu
- [2] – Ing. Miroslav Mazal – Popis systému pro bezkontaktní měření drsnosti a povrchových charakteristik textilií
- [3] – Prof. Jiří Militký, Ing. Vladimír Bajzík – Charakterization of protective clothing surface roughness
- [4]- http://www.idemployee.id.tue.nl/g.w.m.rauterberg/conferences/CD_doNotOpen/ADC/final_paper/543.pdf
- [5] – Prof. Jiří Militký, Ing. Vladimír Bajzík - Surface Roughness And Fractal Dimension, TUL 2002
- [6] - Norma ČSN EN ISO 5084 – Měření tloušťky
- [7] - Návod k obsluze tloušťkoměru SDL M 034/1
- [8] - Militký, Jiří. Bajzík, Vladimír. – Zpráva za rok 2001 o řešení projektu v programu PROTEX. TU Liberec, 2001
- [9] - Návod k obsluze přístroje KES- FB4

7. Seznam příloh

Příloha č. 1 – Vzorčky použitých materiálů

Příloha č. 2 - Schéma programu pro snímání hodnot SMD vytvořeném v programu
Labview

Příloha č. 3 – Skript v programu Matlab pro vyhodnocení statistických charakteristik
povrchové drsnosti

Příloha č. 4 – Tabulky výsledných statistických parametrů

Příloha č. 5 – Grafy porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorků

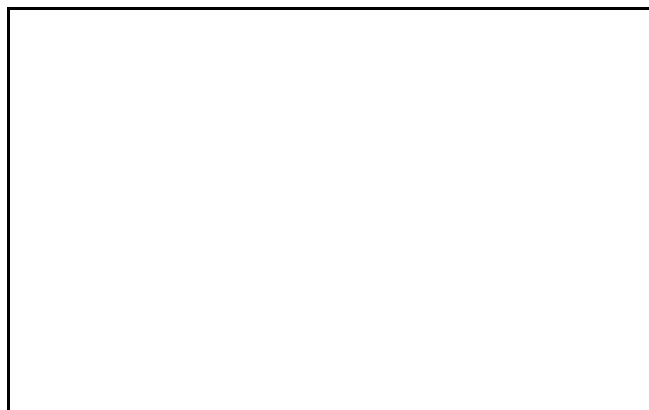
Příloha č. 6 – Diplomová práce v elektronické podobě

PŘÍLOHA

Příloha č. 1: Vzorky použitých materiálů



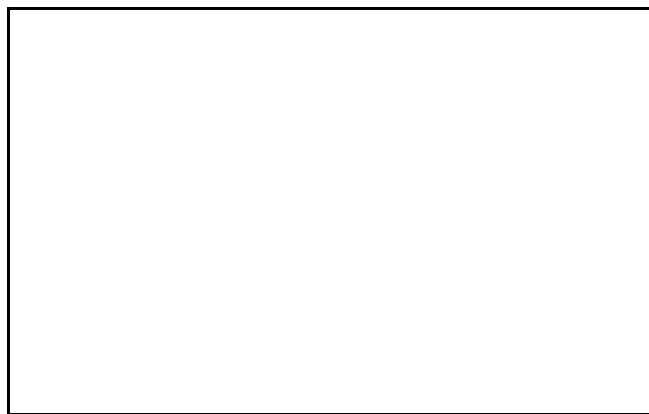
Materiál č. 1: 130 T



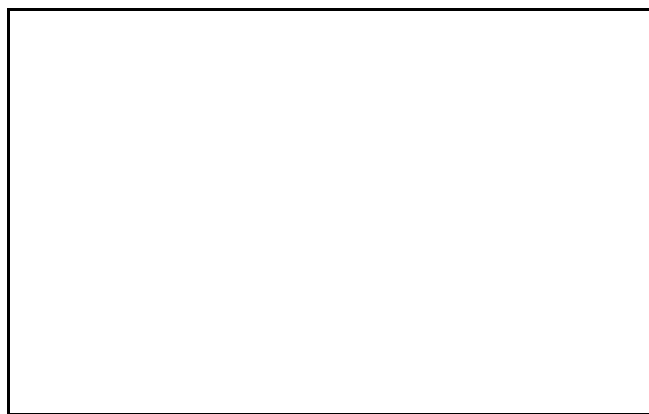
Materiál č. 2: 53 S



Materiál č. 3: PAD



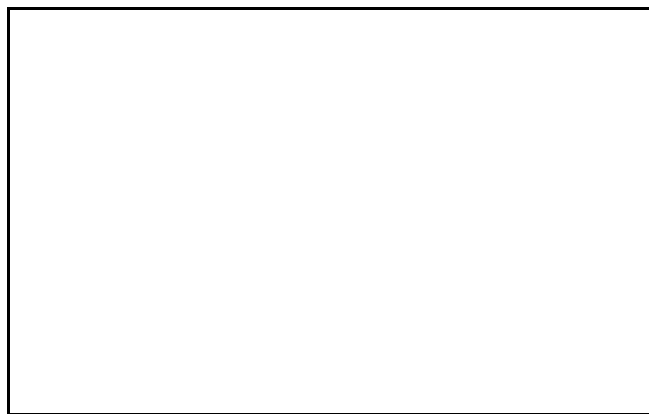
Material č. 4: 63 M



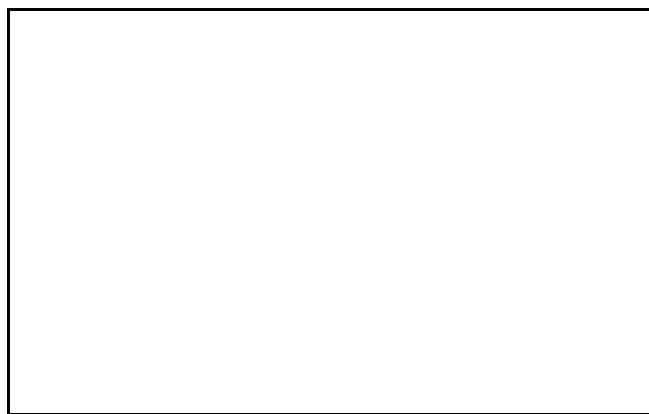
Material č. 5: PES



Material č. 6: PP21

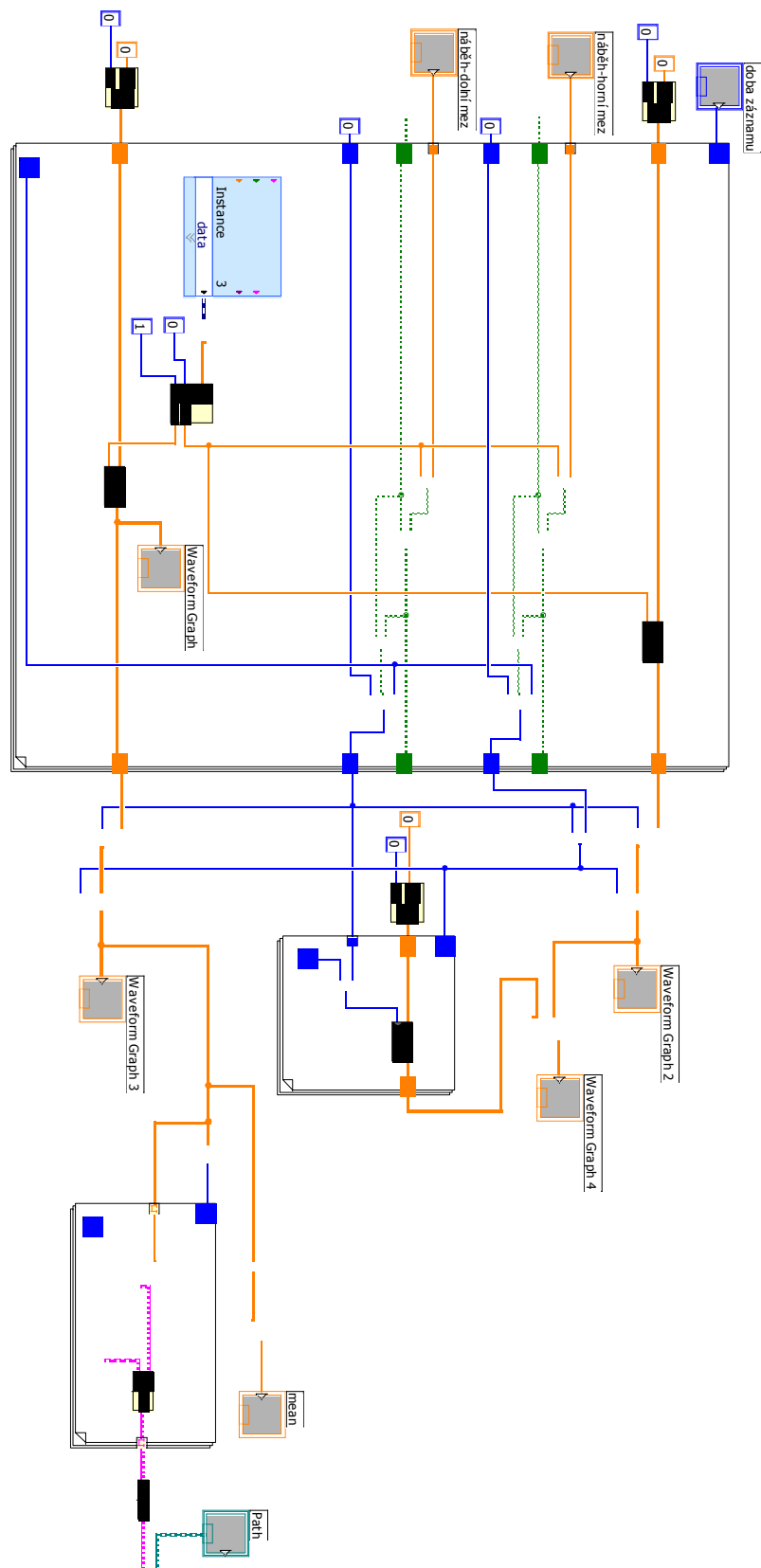


Materiál č. 7:26 S



Materiál č. 8: 31 HD

Příloha č. 2: Schéma programu pro snímání hodnot SMD vytvořeném v programu LabVIEW



Příloha č. 3: Skript vytvořený v programu Matlab pro vyhodnocení statistických charakteristik povrchové drsnosti

```
%Dwarf 2007 micro/macro roughness
clf;clc;clear all;pobr=1;format compact;kkok=-1;warning off
all;warning('off','MATLAB:dispatcher:InexactMatch');
kkk = menu('Data input','file','testy','internal mat');
if kkk==2;lo=18458;xk=0.010836;
    kkok = menu('Simulated Data: ','white noise','AR1 sigma=1','AR1
sigma=0.1','AR2 sigma=1','autoregressive','3 harmonic',...
'Hurst H=.2','Hurst H=.5','Hurst H=.8','Hurst H=.8 sigma=3','red
noise and periodic component');
if kkok==1; yad=3+randn(1,lo);yad=yad';ya=yad;end
if kkok==2; ad=1.*randn(1,lo);yad(1)=1;for jj=2:lo,
yad(jj)=0.8*yad(jj-1)+ad(jj);end
    yad=10.*yad;yad=yad-mean(yad);
    yad=yad';ya=yad;end
if kkok==3; ad=.1.*randn(1,lo);yad(1)=1;for jj=2:lo,
yad(jj)=0.8*yad(jj-1)+ad(jj);end
    yad=100.*yad;yad=yad-mean(yad);
    yad=yad';ya=yad;end
if kkok==4; ad=.1.*randn(1,lo);yad(1)=1;yad(2)=1;for jj=3:lo,
yad(jj)=0.8*yad(jj-1)-0.4*yad(jj-2)+ad(jj);end
    yad=100.*yad;yad=yad-mean(yad);
    yad=yad';ya=yad;end
if kkok==5;acf=[-.6;-.4;.4];
    len=size(acf);
if ( rem(len,2)== 0), len=len-1; acf=acf(0:len);end
acf = [ acf ; acf(len-1:-1:2)];len = length(acf);
fir = real(ifft(sqrt(real(fft(acf)))));
fir = [ fir(len/2+2:len) ; fir(1:len/2+1) ];
ad=1.*randn(1,lo);
yad = fftconv(ad,fir);yad=40.*yad;
yad = yad(len:lo+len-1);ya=yad;end
if kkok==6,t=xk.*(1:lo)';lo=length(t);
a0=-.0*t+3*sin(.02*pi*t)+4*sin(.2*pi*t)+1*sin(2*pi*t);
ad=5.*randn(1,lo);aaa=3.*(1.*a0+ad');
yad=aaa-mean(aaa);
    ya=yad;end
if kkok==7,Nc = 2^14;H=.2;
mc= Nc/2;Hp =H +0.5;k = 0:Nc-1;r = randn(mc,1);
lni = log(1:mc);lni = lni';magl=r.*exp(-Hp*lni);
magl = abs(magl);mag2 = magl(mc:-1:1);
mag = [0; magl; mag2(2:mc)];phil = 2*pi*(rand(1,mc) - 0.5);
phi2 = -phil(mc:-1:1); phi = [0 phil phi2(2:mc)]';
S = mag.* exp(i*phi);%Pyy = S .* conj(S)
yad = 1e5.*real(ifft(S)); yad=yad-mean(yad);
    ya=yad;end
if kkok==8,Nc = 2^14;H=.5;
mc= Nc/2;Hp =H +0.5;k = 0:Nc-1;r = randn(mc,1);
lni = log(1:mc);lni = lni';magl=r.*exp(-Hp*lni);
magl = abs(magl);mag2 = magl(mc:-1:1);
mag = [0; magl; mag2(2:mc)];phil = 2*pi*(rand(1,mc) - 0.5);
phi2 = -phil(mc:-1:1); phi = [0 phil phi2(2:mc)]';
S = mag.* exp(i*phi);%Pyy = S .* conj(S)
yad = 3e5.*real(ifft(S)); yad=yad-mean(yad);
    ya=yad;end
if kkok==9,Nc = 2^14;H=.8;
mc= Nc/2;Hp =H +0.5;k = 0:Nc-1;r = randn(mc,1);
lni = log(1:mc);lni = lni';magl=r.*exp(-Hp*lni);
magl = abs(magl);mag2 = magl(mc:-1:1);
```

```

mag = [0; mag1; mag2(2:mc)]; phil = 2*pi*(rand(1,mc) - 0.5);
phi2 = -phil(mc:-1:1); phi = [0 phil phi2(2:mc)]';
S = mag.*exp(i*phi); %Py = S.*conj(S)
yad = 3.5e5.*real(ifft(S)); yad=yad-mean(yad);
ya=yad;end
if kkok==10, Nc = 2^14; H=.8;
mc= Nc/2; Hp = H + 0.5; k = 0:Nc-1; r = randn(mc,1);
lni = log(1:mc); lni = lni'; mag1=r.*exp(-Hp*lni);
mag1 = abs(mag1); mag2 = mag1(mc:-1:1);
mag = [0; mag1; mag2(2:mc)]; phil = 2*pi*(rand(1,mc) - 0.5);
phi2 = -phil(mc:-1:1); phi = [0 phil phi2(2:mc)]';
S = mag.*exp(i*phi); %Py = S.*conj(S)
yad = 3.5e5.*real(ifft(S));
ad=3.*randn(1,Nc); yad=yad+ad'; yad=yad-mean(yad);
ya=yad;end
end
if kkok==11, Nc = 2^14; yad=0;
for ii=2:Nc,
yad(ii)=.8*yad(ii-1)+randn;
end

yad=yad/std(yad)+sqrt(.5)*sin(2*pi*[1:Nc]/41+rand*2*pi)+sin(2*pi*[1:Nc]
)/100+rand*2*pi);
yad=11.*yad; yad=(yad-mean(yad))';
ya=yad;end
if kkk==3; load m779f.mat; yk=0.006745; xk=0.02167;
yap=da; ya=yap.*yk; aa=mean(ya); ya(ya>2*aa)=aa;end
if kkk==1
s1=input('file name: ','s'); % jmeno s cislem
s2=input('file suffix: ','s'); % bez tecky
s2=strcat('.',s2); nam=s1; nam1=strcat(nam,s2);
load(nam1); yar=eval(nam); yap=yar(:,1); %volit sloupec 1.
lab2 .kaw
% xk=input('xk = '); yk=input('yk = ');
xk=1; yk=1; %meritka na osach
% xk=0.021672; aal=mean(a); yk=3.41/aal;
ya=yap.*yk; %aa=mean(ya); ya(ya>2*aa)=aa;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%konec vstupu
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%lo=length(ya); ya=ya(1:round(lo/4)); sazede tadz se da menit
lo=length(ya); sa=std(ya); aa=mean(ya); xa=xk.*(1:lo)';
cvc=100*sa/aa;
fprintf('Basic characteristics
.\n'); fprintf(1, '*****.\n');
fprintf('mean = %g.\n', aa);
fprintf('standard deviation = %g.\n', sa);
fprintf(1, '*****.\n');
%if kkok < 0, yad=100.*((ya-aa)./aa); end
figure(pobr); pobr=pobr+1; yad=(ya-aa); % difference

laa=sort(ya); dkvar=laa(round(lo/4)); hkvar=laa(round(3*lo/4)); hhh=min(s
a, (hkvar-dkvar)/1.349);
hhh=3.49*hhh/lo^(1/3); poceti=round(2.46*(lo-1)^0.4);
hhh=0.9*hhh/lo^(1/5);
xmin=laa(1)-0.1*(laa(2)-laa(1)); xmax=laa(end)+0.1*(laa(end)-
laa(end-1));
bins = linspace(xmin,xmax,poceti);
bar(bins,histc(ya,bins)/((bins(2)-
bins(1))*length(ya)), 'histc'); title('histogram');
zz=histc(ya,bins)/((bins(2)-bins(1))*length(ya));

```

```

        hold on;plot(bins,normpdf(bins,aa,sa),'r-
', 'LineWidth',3);set(gca,'LineWidth',2);
        sym='b';k='kepan';hh=hns(ya,'kepan');
        [z,h,h1]=akdestld(bins,ya,k,hh);
        plot(bins,z,sym,'LineWidth',3);
        ylabel('Rel. Freq. ');
        legend(['h = ',num2str(h)]);
        fprintf('Nonparametric two modes
.\n');fprintf(1,'*****.\n');

ii=diff(diff(z));[ynic,i]=sort(ii);mod1=bins(i(1));mod2=bins(i(2));
        fprintf('mode 1 = %g.\n', mod1);
        fprintf('mode 2 = %g.\n', mod2);
        fprintf('optimal bin = %g.\n', hhh);
        fprintf(1,'*****.\n');
        figure(pobr);pobr=pobr+1;set(0,'defaultaxesfontsize',14);
set(gca,'LineWidth',2)
        plot(xa,ya,'b-',xa,aa.*ones(1,lo),'r-','LineWidth',2);
        title('diagram ');xlabel('length L');%set(gca,'XLim',[0 400]);
        ylabel('height');set(gca,'XLim',[0 lo]);%set(gca,'YLim',[0
10]);
        set(gca,'LineWidth',2)
        %figure(pobr);pobr=pobr+1;
        % nonlinear
        % [u,sig,t,iter] = mixgauss(ya,2);
        % global verbose
        % verbose=1;
        % options=[0.01; 0.01; 0.01] [.8; .8;
.8];t=bins';data=zz;wt1=(1+0*t);
        %pin1=[t(1); u(1);sig(1);t(2); u(2);sig(2)]; %pocatecni odhady
        % [f1,p1,kvg1,iter1,corp1,covp1,covr1,stdresid1,Z1,r21]=...

%leasqr(t,data,pin1,'model',.0001,500,wt1,.001*ones(size(pin1)),...
        % 'dfdp');

        %bsepa=abs(p1(2)-p1(5))/(2*p1(3)+2*p1(6));
        % fprintf('Two Gaussians
.\n');fprintf(1,'*****.\n');
        % fprintf('mean 1 = %g.\n', p1(2));
        % fprintf('mean 2 = %g.\n', p1(5));
        % fprintf('st dev 1 = %g.\n', p1(3));
        % fprintf('st dev 2 = %g.\n', p1(6));
        % fprintf('portion 1 = %g.\n', p1(1));
        % fprintf('portion 2 = %g.\n', p1(4));
        % fprintf('bimodal separation = %g.\n', bsepa);
        % fprintf(1,'*****.\n');
        %nsin=nbsinu(ya);

dr=zeros(1,100);
        %pause % muzes dat procento a pocita cele
        laa=sort(ya);loo=sum(laa);kupr(1)=1/(lo+1);
        lasu(1)=laa(1)/loo;nnP(1) = normcdf(laa(1),aa,sa);
        noq(1)=norminv(1/(lo+1),aa,sa);
        %figure(pobr);pobr=pobr+1;
        dipex=0;rect(1)=1/(laa(lo)-laa(1))*(laa(1)-laa(1));
        %plot(laa(1),rect,'r.',laa(1),lasu,'b.',laa(1),nnP,'c. ');hold on
        for i=2:lo;lasu(i)=lasu(i-1)+laa(i)/loo;rect(i)=(laa(i)-
laa(1))/(laa(lo)-laa(1));nnP(i) = normcdf(laa(i),aa,sa);
        noq(i)=norminv(i/(lo+1),aa,sa);kupr(i)=i/(lo+1);
        if abs(lasu(i)-rect(i))>dipex,
            dipex=abs(lasu(i)-rect(i));inde=i;end
end,

```

```

%plot(laa,rect,'r.',laa,kupr,'b.',laa,nnP,'c. ');
%title( 'CDF plots');legend('rectangular','empirical','normal');hold
off
%figure(pobr);pobr=pobr+1;plot(1/(lo+1):1/(lo+1):lo/(lo+1),laa,'c. ');
title( 'Quantile plot')
figure(pobr);pobr=pobr+1;plot(noq,laa,'r. '); title( 'Rankit plot')
figure(pobr);pobr=pobr+1;plot(1/(lo+1):1/(lo+1):lo/(lo+1),((laa-
median(laa))/(2*(hkvar-dkvar))), 'r. '); title( 'Shape ident. Q plot')
%figure(pobr);pobr=pobr+1;plot(laa,nnP-
(1/(lo+1):1/(lo+1):lo/(lo+1)), 'r. '); title( 'Comparative P-P plot')

Na=floor(lo/8);yal=ya(1:Na*8); time = xa(1:Na);
    dl0 = reshape(yal,Na,8); dl0 = dl0';
    for i=1:8; dd10(i,:)=dl0(i,:)+(20*(i-1)*ones(1,Na));end
    %figure(pobr);pobr=pobr+1;
    %plot(time,dd10,'k');xlabel('length L [m]');
    %title('height relative deviation [%] - 8 SEGMENTS')
    mens = mean(dl0);varens = var(dl0);
        fprintf(1, '*****.\n');
    fprintf('Independence sign test
.\n');fprintf(1, '*****.\n');
    aat=sign(diff(ya));aalt=sum(aat(aat==1));aa2t=sum(aat(aat==-1));
ncc=aalt-aa2t;
    tsi=abs(aalt-(ncc)/2)/sqrt(ncc/12)
    fprintf('Sign test statistic = %g.\n', tsi);
    disp('Upper limit; P=95%');disp([ 1.96])
    fprintf(1, '*****.\n');
    fprintf(1, '*****.\n');
    fprintf('Independence reversion test
.\n');fprintf(1, '*****.\n');
    aaat=aat(aat==1 | aat==-1);
    aabt=[0
aaat'];act=length(aaat);aabt=aabt(1:act);laaa=aaat'+aabt;tl=length(la
aa(laaa==0));
    tta=abs(tl-2*(act-2)/3)/sqrt((16*act-29)/90);
    fprintf('Reversion test statistic = %g.\n', tta);
    disp('Upper limit; P=95%');disp([ 1.96])
    fprintf(1, '*****.\n');
        kk=floor(2/xk);dd=lo./kk;dd=floor(dd);for ii=1:dd
            ya15(ii)=mean(ya((ii-
1)*kk+1:ii*kk));xa15(ii)=mean(xa((ii-1)*kk+1:ii*kk)); end
            ya15=ya15-mean(ya15);lo15=length(ya15);
            kk=floor(10/xk);dd=lo./kk;dd=floor(dd);for ii=1:dd
                ya10(ii)=mean(ya((ii-
1)*kk+1:ii*kk));xa10(ii)=mean(xa((ii-1)*kk+1:ii*kk)); end
                ya10=ya10-mean(ya10);lo10=length(ya10);
                % figure(pobr);pobr=pobr+1;
                %plot(xa15,ya15,'b-',xa10,ya10,'r-','LineWidth',2);
                %legend('2 mean','10 mean','Location','best')
                %title('diagram cut: 2 and 10 ');xlabel('length
L');ylabel('height deviation');
                for
                    kk=1:floor(lo/5);dd=lo/kk;dd=floor(dd);yaf=zeros(dd,1);for ii=1:dd
                        yaf(ii)=mean(ya((ii-1)*kk+1:ii*kk));
                    end
                    slopp(kk)=mean(abs(diff(yaf./1)));
                    krivop(kk)=mean(abs(diff(yaf./1)));
                    slocp(kk)=mean((diff(yaf./1).^2));
                    cvb(kk)=std(yaf)/mean(yaf);le(kk)=kk*xk;varb(kk)=var(yaf); end;
                    varb=varb(2:end);nna=2:length(varb)+1;
                    figure(pobr);pobr=pobr+1;plot(le,slopp,'-','LineWidth',3);

```

```

        xlabel('length L');ylabel('mean slope');title ( 'Roughness
slope');set(gca,'LineWidth',2);grid on
        figure(pobr);pobr=pobr+1;plot(le,slopc,'-','LineWidth',3);
        xlabel('length L');ylabel('mean squared slope');title (
'Roughness squared slope');set(gca,'LineWidth',2);grid on
        figure(pobr);pobr=pobr+1;plot(le,krivop,'-','LineWidth',3);
        xlabel('length L');ylabel('mean curvature');title ( 'Roughness
curvature');set(gca,'LineWidth',2);grid on

figure(pobr);pobr=pobr+1;lva=length(varb);plot(log(nna),log(varb),'r*')
);hold on
        [ppa]=polyfit(log(nna),log(varb),1); yhav =
polyval(ppa,log(nna));plot(log(nna),yhav,'b-','LineWidth',3);
        xlabel('log size Na [-]');ylabel('log variance (Na)');title (
'Variance vs sample length');set(gca,'LineWidth',2);
        s1 = num2str(ppa(1));ss= ['slope: ' s1 ];aal=(max(log(nna))-
min(log(nna)))/2;bb=(max(log(varb))-min(log(varb)))/2;
        text(aal,bb,ss); grid on
        %figure(pobr);pobr=pobr+1;plot(le,100.*cvb,'-
','LineWidth',3);hold on
        %plot(le,100.*(cvb(1)-cvb),'r-','LineWidth',3)
        %xlabel('length L [m]');ylabel('CV [%]');title ( 'CVB(L) and
CVU(L)');set(gca,'LineWidth',2);grid on
        %figure(pobr);pobr=pobr+1;
        %plot(log(le),log(100.*cvb),'-','LineWidth',3);xx=ya(1:lo-
1);yy=ya(2:lo);[xx ii]=sort(xx);yy=yy(ii);
        %xlabel('log L [m]');ylabel('log CV [%]');title ('log CVB(L)
vs log L');set(gca,'LineWidth',2);grid on
        kj=1;rsu=[];
        for
kk=1:1:floor(floor(lo/2)/10)*10;dd=lo/kk;dd=floor(dd);yyaf=zeros(dd,1)
;rs1=[];for ii=1:dd
        yyaf=ya((ii-1)*kk+1:ii*kk); noc1=length(yyaf);majj=-1e-
10;mijj=1e+10;mej=mean(yyaf);
        dijj=[];
        for jj=1:noc1,
                dijj=[dijj (yyaf(jj)-
mej)];maj=(sum(dijj));majj=max(majj,maj);mijj=min(mijj,maj);
        end;rs1(ii)=0;
        if var(yyaf)>0
                rs1(ii)=(majj-mijj)/var(yyaf);end
        end
        rsu(kj)=mean(rs1);kj=kj+1;
        end; rsu=rsu(5:end-5);nnr=5:10:10*length(rsu)+4;

figure(pobr);pobr=pobr+1;lva=length(rsu);plot(log(nnr),log(rsu),'r*')
);hold on
        [ppal]=polyfit(log(nnr),log(rsu),1); yhav1 =
polyval(ppal,log(nnr));plot(log(nnr),yhav1,'b-','LineWidth',3);
        xlabel('log size Na [-]');ylabel('log RS (Na)');title ( 'R/S vs
sample length');set(gca,'LineWidth',2);
        s1 = num2str(ppal(1));ss= ['slope: ' s1 ];aal=(max(log(nnr))-
min(log(nnr)))/2;bb=min(log(rsu))+(max(log(rsu))-min(log(rsu)))/2;
        text(aal,bb,ss); grid on

%vlozeno*****
*****
        % FFT, for fractal and signal
classification*****
        Nn=lo-mod(lo,2);nn=Nn/2;
        xul=yad(1:Nn);wl=1-(2*(1:Nn)/(Nn+1)-1).^2;

```

```

w1=w1';xul=xul.*w1;xul=detrend(xul);Py1=fft(xul);
z1 = Py1 .* conj(Py1)/(Nn);z1=z1(1:nn);z1=z1(:);
ful=(0:nn-1)/(Nn*1);ful=ful(:);nulta= sum(z1)*2/Nn;
druha=sum(z1.*ful.^2)*2/Nn; druha=druha/nulta;
prvni=sum(z1.*ful)*2/Nn; prvni=prvni/nulta;
ctvrta=sum(z1.*ful.^4)*2/Nn;
druc=sum(z1.*(ful-prvni).^2)*2/Nn;druc=druc/nulta;
tric=sum(z1.*(ful-prvni).^3)*2/Nn;tric=tric/nulta;
ctvrc=sum(z1.*(ful-prvni).^4)*2/Nn;ctvrc=ctvrc/nulta;
fprintf(1,'*****\n');
fprintf('Spectral moments \n');
    fprintf('zero moment = %g.\n', nulta);
    fprintf('firsr moment = %g.\n', prvni);
    fprintf('second moment = %g.\n', druha);
    fprintf('fourth moment = %g.\n', ctvrta);
    fprintf('spectral variance = %g.\n', druc);
    fprintf('spectral skewness = %g.\n', tric);
    fprintf('spectral kurtosis = %g.\n', ctvrc);
    fprintf(1,'*****\n');
ii=1;while lo>=2^ii,
    ii=ii+1;end;
pii=ii-1;Nn1=2^pii; %Nn=lo-mod(lo,2);
nn1=Nn1/2;
xu=yad(1:Nn1);w=1-(2*(1:Nn1)/(Nn1+1)-1).^2;
w=w';xu=xu.*w;xu=detrend(xu);
Py=fft(xu);z = Py .* conj(Py)/Nn1;
k=find(z==0);
if isempty(k)==0,
for kk=1:length(k)
    z(k(kk))=0.00001;
end;
end;fus=(1:nn1)/(Nn1);
fu=(0:Nn-1)/(Nn*xk);
fu=fu(2:nn+1); % FREQUENCY
lP = log(z(2:nn1)); lf = log(fus(2:nn1));
figure(pobr);pobr=pobr+1;
plot(lf, lP, '.');xlabel('log frequency'),
ylabel('log power');
hold on;
Nmin = 1;Nmax = floor(15*nn1/32);p1 = polyfit(lf, lP, 1);
p2 = polyfit(lf(Nmin:Nmax), lP(Nmin:Nmax),1);
%p3 = polyfit(lf(1:floor(ppp)/4), lP(1:floor(ppp)/4),1);
b(1) = -p1(1);b1=(5+b(1))/2;b(2) = -p2(1);b2=(5+b(2))/2;
if b(1)<1, h1=(b(1)+1)/2;
end;
if b(1)>1, h1=(b(1)-1)/2;
end;
if b(1)==1, h1=inf;
end;
if b(2)<1, h2=(b(2)+1)/2;
end;
if b(2)>1, h2=(b(2)-1)/2;
end;
if b(2)==1, h2=inf;
end;
%b(3) = p3(1);b3=(5+b(3))/2;
s1 = num2str(b(1));s2 = num2str(b(2));
%s3 = num2str(b(3));
%ss = ['Slope estimates are: ' s1 ' and ' s2 'and' s3 ];
ss = ['Slope estimates are: ' s1 ' and ' s2 ];
fl = polyval(p1, lf);

```

```

f2 = polyval(p2, lf(Nmin:Nmax));
%f3 = polyval(p3, lf(1:floor(ppp)/4));
plot(lf, f1, 'g', lf(Nmin:Nmax), f2, 'r'), title('Log power
spectral density');hold off;
fprintf(1, '*****.\n');
fprintf('PSD- final points .\n');
fprintf('beta = %g.\n', b(2));
fprintf('Hurst exponent = %g.\n', h2); fprintf('FD fin =
%g.\n', b2);
fprintf('PSD- full data .\n');
fprintf('PSD- all points .\n');
fprintf('beta = %g.\n', b(1));
fprintf('Hurst exponent = %g.\n', h1); fprintf('FD all =
%g.\n', b1);
fprintf(1, '*****.\n');
if b(1)>1 | b(1)==1
    fprintf('strong persistency nonstationarity .\n');end
if b(1)<1 & b(1)>.1
    fprintf('weak persistency stationarity .\n');end
if b(1)<.1 & b(1)>-.1
    fprintf('uncorrelated stationarity .\n');end
if b(1)<-.1
    fprintf('anti persistency stationarity .\n');end
    xz1=yad;xz2=yad.^2;cor =
xcorr(xz1, 'coeff');nn=length(yad);k=min(nn-20,200);
    rho = cor(nn+1:nn+k);for ii = 1:floor(k)
        x = 2*(1 - [1:ii-1]/ii).*rho(1:ii-1)';
        delta(ii) = sum(x);
    end
    figure(pobr);pobr=pobr+1;ll=length(delta);
    plot(1:ll,(1 + delta),1:ll,ones(1,ll),'r-','LineWidth',3);
set(gca,'LineWidth',2); title('variance correction factor-VCF')
    xlabel('lag La [-]');ylabel('VCF');
    kq=60;pr(1)=rho(1);for kk=2:kq-1
        pmat=toeplitz([1 rho(1:kk)]');% lag 0 to k-1
        rhovec=rho(1:kk+1); % lag 1 to k
        phi=inv(pmat)*rhovec;pr(kk)=phi(kk);
    end
    figure(pobr);pobr=pobr+1;ALPHA=.05;
    stem(pr,'b-','LineWidth',2); hold on;set(gca,'LineWidth',2);
    thr=norminv(1-ALPHA/2,0,1/sqrt(lo));% later replace with rinvs
    plot([1:kq-1],thr*ones(size(pr)),'--r',[1:kq-1],-
thr*ones(size(pr)),'--r','LineWidth',3);
    title(['PACF, nx=',int2str(lo),' alpha = ',num2str(ALPHA)]);
    xlabel('Lag [-]');ylabel('PACF(R)');
    figure(pobr);pobr=pobr+1;
    lla = [1:1:k];
    plot(lla,rho.^2,'r-','LineWidth',3);title('ACF(R) ^2 and
ACF(R^2)');grid on
    cor = xcorr(xz2,'coeff');rho = cor(nn+1:nn+k);
    lla = [1:1:k]; hold on
    plot(lla,rho,'b.','LineWidth',3);set(gca,'LineWidth',2);
    xlabel('Lag [-]');ylabel('ACF(R) ^2 and ACF(R^2)');grid on
    pva=min(nn-10,100); ysl=detrend(yad);for i=1:pva,
        g(i)=0; for j=1:nn-i;
            %g(i)=g(i)+(yr1(j)-yr1(j+i))^2;
            g(i)=g(i)+(ysl(j)-ysl(j+i))^2;
        end
        g(i)=g(i)/(2*(nn-i)); lg(i)=log(g(i));li(i)=log(i);
    end
    figure(pobr);pobr=pobr+1;

```

```

    plot(1:pva,g,'ko');title('Variogram');xlabel('Lag [-
]');ylabel('Variogram');set(gca,'LineWidth',2);
    figure(pobr);pobr=pobr+1;
    plot(li,lg,'k*');title('Variogram log. ');xlabel('log Lag [-
]');ylabel('log Variogram');set(gca,'LineWidth',2);
    [ppp]=polyfit(li(2:end),lg(2:end),1); yhat = POLYVAL(ppp,li(2:end));
    hold on,plot(li(2:end),yhat,'b-','LineWidth',3)
    fprintf(1,'*****.\n');
    fprintf('Log variogram line .\n');
    fprintf('slope = %g.\n', ppp(1));
    fprintf('intercept = %g.\n', ppp(2));
    fprintf(1,'*****.\n');
    for m=2:pva,
        pli=0;plg=0;
        for i=1:m;
            pli=pli+li(i); plg=plg+lg(i);
        end
        pli=pli/m;plg=plg/m;ci=0;jm=0;
        for i=1:m;
            ci=(li(i)-pli)*(lg(i)-plg)+ci;jm=(li(i)-pli)^2+jm;
        end
        alf(m)=2-ci/(2*jm);
    end
    %figure('Name','D');
    %plot(1:pva,alf,'k. ');title('Fractal dimension vs. M');
    prp=0;for i=pva-45:pva-10
        prp=prp+alf(i);
    end
    prp=prp/36;
    fprintf(1,'*****.\n');
    fprintf('Fractal Dimension var.- fin .\n');
    fprintf('D = %g.\n', prp);
    fprintf('Fractal Dimension var.- full data .\n');
    fprintf('D = %g.\n', mean(alf));
    fprintf(1,'*****.\n');
    fprintf(1,'*****.\n');
    fprintf('Roughness standard .\n');

    xp=mean(ya);
    xg=(mean(log(ya)));
    xg=exp(xg);
    sigp=var(ya);
    sigl=mean((ya-xp).^2);
    sial=mean(abs(ya-xp));
    slop=mean(abs(diff(ya)./1));
    krivo=mean(abs(diff(ya,2)./1));
    sloc=mean((diff(ya)./1).^2);
    si=mean((ya-xp).^3);
    sil=si/(sigp*sqrt(sigp));
    sp=mean((ya-xp).^4);
    spl=sp/(sigp*sigp);
    yrr=sort(ya);
    rdol=mean(yrr(1:5,1));
    rhor=mean((yrr(length(yrr)-5:length(yrr),1)));
    rten=rhor-rdol;
    fprintf(1,'*****.\n');
    fprintf('Puvodni data .\n');
    fprintf('Prumer arit. = %g.\n', xp);
    fprintf('Prumer geom. = %g.\n', xg);
    fprintf('prum. abs chyba = %g.\n', sial);
    fprintf('prum. smernice = %g.\n', slop);

```



```

fprintf('prum. ctverec smernice = %g.\n', sloc);
fprintf('prum. krivost = %g.\n', krivo);
fprintf('Rozptyl = %g.\n', sigp);
fprintf('Sikmost = %g.\n', sil);
fprintf('Spicatost = %g.\n', spl);
%fprintf('Kaw SMD = %g.\n', kl);
fprintf('Rz rough 10. = %g.\n', rten);
vkl=100*sqrt(sigp)/xp;fprintf('var koef. = %g.\n', vkl);
fprintf(1, '*****.\n');
%filtrace nejvyssi harmonicke
data_fft=fft(ya);
data_upr=data_fft;
pocet_harm=25;
data_upr(pocet_harm:length(data_upr)-pocet_harm,1)=0;
%eliminate amplitud na vyssich frekv z obou stran spektra - suda fce
data_upr(pocet_harm:length(data_upr)-pocet_harm,2)=0;
data_ifft_u=ifft(data_upr);
figure(pobr);pobr=pobr+1;
plot(xa,ya,'b',xa,(data_ifft_u(:,1)), 'r', 'LineWidth',2);%axis
equal; abs - je treba zobrazovat abs hodnotu re cisla
title('Full / macro rough')
xlabel('distance [-]');ylabel('height');
yaa= data_ifft_u(:,1);
xp=mean(yaa);
xg=(mean(log(yaa)));
xg=exp(xg);
sigp=var(yaa);
sigl=mean((yaa-xp).^2);
sial=mean(abs(yaa-xp));
slop=mean(abs(diff(yaa)./1));
krivo=mean(abs(diff(yaa,2)./1));
sloc=mean((diff(yaa)./1).^2);
si=mean((yaa-xp).^3);
sil=si/(sigp*sqrt(sigp));
sp=mean((yaa-xp).^4);
spl=sp/(sigp*sigp);
yrr=sort(yaa);
rdol=mean(yrr(1:5,1));
rhorr=mean((yrr(length(yrr)-5:length(yrr),1)));
rten=rhorr-rdol;
fprintf(1, '*****.\n');
fprintf('Macro rough .\n');
fprintf('Prumer arit. = %g.\n', xp);
fprintf('Prumer geom. = %g.\n', xg);
fprintf('prum. abs chyba = %g.\n', sial);
fprintf('prum. smernice = %g.\n', slop);
fprintf('prum. ctverec smernice = %g.\n', sloc);
fprintf('prum. krivost = %g.\n', krivo);
fprintf('Rozptyl = %g.\n', sigp);
fprintf('Sikmost = %g.\n', sil);
fprintf('Spicatost = %g.\n', spl);
%fprintf('Kaw SMD = %g.\n', kl);
fprintf('Rz rough 10. = %g.\n', rten);
vkl=100*sqrt(sigp)/xp;fprintf('var koef. = %g.\n', vkl);
fprintf(1, '*****.\n');
yaa= ya-data_ifft_u(:,1);
xp=mean(yaa);
xg=(mean(log(yaa)));
xg=exp(xg);
sigp=var(yaa);
sigl=mean((yaa-xp).^2);

```

```

sial=mean(abs(yaa-xp));
slop=mean(abs(diff(yaa)./1));
krivo=mean(abs(diff(yaa,2)./1));
sloc=mean((diff(yaa)./1).^2);
si=mean((yaa-xp).^3);
sil=si/(sigp*sqrt(sigp));
sp=mean((yaa-xp).^4);
spl=sp/(sigp*sigp);
yrr=sort(yaa);
rdol=mean(yrr(1:5,1));
rhor=mean((yrr(length(yrr)-5:length(yrr),1)));
rten=rhor-rdol;
fprintf(1, '*****.\n');
fprintf('Micro rough .\n');
fprintf('Prumer arit. = %g.\n', xp);
fprintf('Prumer geom. = %g.\n', xg);
fprintf('prum. abs chyba = %g.\n', sial);
fprintf('prum. smernice = %g.\n', slop);
fprintf('prum. ctverec smernice = %g.\n', sloc);
fprintf('prum. krivost = %g.\n', krivo);
fprintf('Rozptyl = %g.\n', sigp);
fprintf('Sikmost = %g.\n', sil);
fprintf('Spicatost = %g.\n', spl);
%fprintf('Kaw SMD = %g.\n', kl);
fprintf('Rz rough 10. = %g.\n', rten);
vkl=100*sqrt(sigp)/xp;fprintf('var koef. = %g.\n', vkl);
fprintf(1, '*****.\n');
figure(pobr);pobr=pobr+1;
plot(xa,yaa,'b',xa,(data_ifft_u(:,1)), 'r', 'LineWidth',2);
title('Micro / macro rough')
xlabel('distance [-]);ylabel('height');

%aggregation
plot(xa,ya,'b',xa10,ya10, 'r', 'LineWidth',2);%axis equal; abs -
je treba zobrazovat abs hodnotu re cisla
title('Full / macro 10 aggreg. rough')
xlabel('distance [-]);ylabel('height');
yaa= ya10;
xp=mean(yaa);
xg=(mean(log(yaa)));
xg=exp(xg);
sigp=var(yaa);
sigl=mean((yaa-xp).^2);
sial=mean(abs(yaa-xp));
slop=mean(abs(diff(yaa)./1));
krivo=mean(abs(diff(yaa,2)./1));
sloc=mean((diff(yaa)./1).^2);
si=mean((yaa-xp).^3);
sil=si/(sigp*sqrt(sigp));
sp=mean((yaa-xp).^4);
spl=sp/(sigp*sigp);
yrr=sort(yaa)';
rdol=mean(yrr(1:5,1));
rhor=mean((yrr(length(yrr)-5:length(yrr),1)));
rten=rhor-rdol;
fprintf(1, '*****.\n');
fprintf('Macro aggreg 10 rough .\n');
fprintf('Prumer arit. = %g.\n', xp);
fprintf('Prumer geom. = %g.\n', xg);
fprintf('prum. abs chyba = %g.\n', sial);
fprintf('prum. smernice = %g.\n', slop);

```

```

fprintf('prum. ctverec smernice = %g.\n', sloc);
fprintf('prum. krivost = %g.\n', krivo);
fprintf('Rozptyl = %g.\n', sigp);
fprintf('Sikmost = %g.\n', sil);
fprintf('Spicatost = %g.\n', spl);
%fprintf('Kaw SMD = %g.\n', kl);
fprintf('Rz rough 10. = %g.\n', rten);
vk1=100*sqrt(sigp)/xp;fprintf('var koef. = %g.\n', vk1);
fprintf(1, '*****.\n');
yaa= yal5;
xp=mean(yaa);
xg=(mean(log(yaa)));
xg=exp(xg);
sigp=var(yaa);
sig1=mean((yaa-xp).^2);
sial=mean(abs(yaa-xp));
slop=mean(abs(diff(yaa)./1));
krivo=mean(abs(diff(yaa,2)./1));
sloc=mean((diff(yaa)./1).^2);
si=mean((yaa-xp).^3);
sil=si/(sigp*sqrt(sigp));
sp=mean((yaa-xp).^4);
spl=sp/(sigp*sigp);
yrr=sort(yaa)';
rdol=mean(yrr(1:5,1));
rhorr=mean((yrr(length(yrr)-5:length(yrr),1)));
rten=rhorr-rdol;
fprintf(1, '*****.\n');
fprintf('Total aggreg 2 rough .\n');
fprintf('Prumer arit. = %g.\n', xp);
fprintf('Prumer geom. = %g.\n', xg);
fprintf('prum. abs chyba = %g.\n', sial);
fprintf('prum. smernice = %g.\n', slop);
fprintf('prum. ctverec smernice = %g.\n', sloc);
fprintf('prum. krivost = %g.\n', krivo);
fprintf('Rozptyl = %g.\n', sigp);
fprintf('Sikmost = %g.\n', sil);
fprintf('Spicatost = %g.\n', spl);
%fprintf('Kaw SMD = %g.\n', kl);
fprintf('Rz rough 10. = %g.\n', rten);
vk1=100*sqrt(sigp)/xp;fprintf('var koef. = %g.\n', vk1);
fprintf(1, '*****.\n');
figure(pobr);pobr=pobr+1;
plot(xal5,yal5,'b',xal0,yal0,'r','LineWidth',2);
title('Full / macro aggreg rough')
xlabel('distance [-]');ylabel('height');
pause
vv=50;
mm=floor((lo-1)/2);
if mm<(lo-1)/2
yad=yad(2:end);lo=lo-1;end
rr=conv(flipud(yad),yad);xa=xk.*(1:lo)';%distances
rr=rr(lo:end); rr=rr/lo;
%plot(rr);
lam=(1:mm)*2*pi/lo; %angular frequency
laoo=(1:mm)/lo; %standard frequency
for ii=1:mm
Ilar(ii)=rr(1);for jj=1:lo-1
Ilar(ii)=Ilar(ii)+2*rr(jj+1)*cos(lam(ii)*jj);
end
Ilar(ii)=Ilar(ii)/(2*pi);end

```

```

Ila=Ilar/sum(Ilar);
ku=(-log(-log(1-.05))+log(mm))/mm;cpf(1)=4*pi*Ilar(1);
for ii=2:mm
    cpf(ii)=cpf(ii-1)+4*pi*Ilar(ii);
end
cpf=cpf./(lo*var(yad));
figure(pobr);pobr=pobr+1;lamr=lam/2/pi;kol=1.36/sqrt((lo-1)/2);
plot(lamr,cpf,'r.',lamr,2*lamr,'b-',lamr,2*lamr+kol,'k--',lamr,2*lamr-
kol,'k--','LineWidth',2);
xlabel('rel. frequency [-]');ylabel('cumul. periodogram [-
]');title('Cumulative periodogram');
figure(pobr);pobr=pobr+1;
stem(lam,Ila,'LineWidth',2);hold on;plot(lam,ones(1,mm)*ku,'r-
','LineWidth',3);Ila=Ila(:);
pok=menu('extrem','yes','no');hold on;XCf=[];YCf=[];
while pok==1
    [Xf,Yf] = ginput(1);plot(Xf,Yf,'r. ');
    XCf=[XCf Xf];YCf=[YCf Yf];
    pok=menu('new extrem','yes','no');
end
if length(XCf)>0
    fprintf(1,'*****.\n');
fprintf('Extremes PSD .\n');
    for ii=1:length(XCf)
        fprintf('angular frequency = %g.\n', XCf(ii));
        fprintf('distance = %g.\n', lo*xk*XCf(ii)/(2*pi));
        fprintf('PSD = %g.\n', YCf(ii));
    end
    fprintf(1,'*****.\n');
end
[mii mjj]=sort(Ila,'descend');
figure(pobr);pobr=pobr+1;plot(100*mii(1:10),'-r','LineWidth',3);hold
on; plot(100*mii(1:10),'bo');
xlabel('index [-]');ylabel('rel. periodogram [%]');title('Scree
plot');
hold off;
pex=length(XCf);pex=50;
mii=mii(1:pex);mjj=mjj(1:pex);vzd=xa(mjj);lao=lam(mjj);
for ii=1:pex
    aki(ii)=0;bki(ii)=0;
    for jj=1:lo
        aki(ii)=aki(ii)+yad(jj)*cos(jj*lao(ii));
        bki(ii)=bki(ii)+yad(jj)*sin(jj*lao(ii));
    end
    aki(ii)=2*aki(ii)/lo; bki(ii)=2*bki(ii)/lo;
end
for kk=1:pex
    mep(kk)=0;
for ii=1:lo
    xes(ii)=0;for jj=1:kk

xes(ii)=xes(ii)+aki(jj)*cos(ii*lao(jj))+bki(jj)*sin(ii*lao(jj));
end
end
pomoc=sum((yad-xes).^2)/(lo-2*kk);mep(kk)=log(pomoc)+2*2*kk/lo;end
figure(pobr);pobr=pobr+1;
plot(mep,'*r');
xlabel('index [-]');ylabel('MEP [-]');title('Optimal MEP');
[meii ij]=min(mep);pex=ij;
for ii=1:lo
    xes(ii)=0;for jj=1:pex

```

```

xes(ii)=xes(ii)+aki(jj)*cos(ii*lao(jj))+bki(jj)*sin(ii*lao(jj));
    end
end
rsog=sum((yad-xes').^2)/(lo-2*pex);mepo=log(rsog)+2*2*pex/lo;
figure(pobr);pobr=pobr+1;
subplot(2,1,1);plot(xa,yad,'b-',xa,xes,'r-');xlim([0 lo/10]);
    title('Harmonic Analysis'); ylabel('rel. deviation [%]');
    subplot(2,1,2); plot(xa,yad,'b-',xa,xes,'r-');%xlim([5 30]);
    if pex <= 10
        xlabel('distance [m]');ylabel('rel. deviation [%]')
        fprintf(1,'*****.\n');
fprintf(1,'*****.\n');
        fprintf('Harmonic Analysis I
.\n');fprintf(1,'*****.\n');
        fprintf('Number of waves = %g.\n', pex);
        for jj=1:pex
            fprintf('frequency j = %g.\n', lao(jj));
            fprintf('length j = %g.\n', 2*pi*xk/lao(jj));
            fprintf('amplitude cos j = %g.\n', aki(jj));
            fprintf('amplitude sin j = %g.\n',
bki(jj));fprintf(1,'.....*.\n');
        end
    end
    fprintf('variance residual = %g.\n', rsog);
    fprintf('MEP optimal = %g.\n', mepo);
    fprintf(1,'*****.\n');
    cr = [2/lo 2*log(log(lo))/lo 2*log(lo)/lo];es = [1 1 1];
yx=zeros(vv+1,vv+1);cx=zeros(vv+1,1);px=zeros(vv+1,1);bx=zeros(vv,1);a
cx=zeros(vv+1,3);
sx(1)=rr(1);acx(1,:) = log(sx(1))*es;
bx(1)=-rr(2)/rr(1);px(1)=bx(1);sx(2)=sx(1)*(1-bx(1)*bx(1));
acx(2,:) = acx(1,:) + log(1-bx(1)*bx(1))*es + cr;
yx(1,1:3)=[bx(1) sx(2) sx(1)];
for i = 1:(vv-1)
    dx=rr(i+2)+bx(1:i)*rr(i+1:-1:2);ex=-dx/sx(i+1);
    bx(1:i)=bx(1:i)+ex*bx(i:-1:1);bx(i+1)=ex;px(i+1)=ex;
    sx(i+2)=sx(i+1)*(1-ex*ex);acx(i+2,:) = acx(i+1,:) + log(1-ex*ex)*es +
    cr;
    yx(i+1,1:(i+2)) = [bx(1:(i+1))' sx(i+2)];end
    [maxl,ji]=min(acx(:,1));ji=ji-1;op=min(ji)+1;

figure(pobr);pobr=pobr+1;plot(xa(op:lo),ya(op:lo),'r.','LineWidth',2);
%set(gca,'XLim',[0 lo/10])
    for ii=op:lo,yev(ii)=0;
        for jj=1:op-1
            yev(ii)= yev(ii)+yx(op-1,jj)*(ya(ii-jj)-aa);
        end
    end
    hold on
    plot(xa(op:lo),yev(op:lo),'b','LineWidth',1.5);hold off
    title('autoregressive model optimal order');xlabel('distance
[m]');ylabel('height difference');
    fprintf('autotregressive model .\n');
    fprintf(1,'*****.\n');
    fprintf('Optimal order = %g.\n', op-1);
    for jj=1:op-1
        fprintf('beta j = %g.\n', yx(op-1,jj));
    end
    if op-1>0, fprintf('variance residual = %g.\n', yx(op-
1,op));end

```

```

%vlozeno*****
*****
    [Nq tl]=size(yad);[sin_num,R] = pocsin(yad,32);%podiv se
[vv1]=acfl(ya-mean(ya),100);
    sin_num=max(3,vv1);
    rxx=xcorr(yad,'biased');rxx=rxx(Nq:(2*sin_num)+Nq);
%Frequencies estimation
    Rxx=toeplitz(rxx);ev=eig(Rxx);[S i]=min(ev);[V
D]=eig(Rxx);a=V(:,i);
    rts=roots(a);w_est=[];for i=1:sin_num
        w_est(i)= abs(angle(rts(2*i)));
    end
    F=(w_est/(2*pi))';
%Amplitudes estimation
    mcos=[];for nq=1:sin_num
        vcos=[];
        for i=1:sin_num
            vcos=[vcos cos(nq*w_est(i))];
        end
        mcos=[mcos; vcos];
    end
    rxx=rxx(2:sin_num+1);rxx=2*rxx;A=inv(mcos)*rxx;
    A=A.^(1/2); xe=[]; for nq=1:Nq
        xe(nq)=0;
        for i=1:sin_num
            xe(nq)= xe(nq)+(A(i)*cos(w_est(i)*nq));
        end
    end
    figure(pobr);pobr=pobr+1;
    subplot(2,1,1);plot(xa,yad,'b-',xa,xe,'r-');xlim([0 lo/10]);
    title('Harmonic Analysis'); ylabel('rel. deviation [%]');
    subplot(2,1,2); plot(xa,yad,'b-',xa,xe,'r-');xlim([5 30]);
    xlabel('distance [m]');ylabel('rel. deviation [%]')
    varte=var(yad-xe');
    fprintf(1,'*****.\n');
fprintf(1,'*****.\n');
    fprintf('Harmonic Analysis I
.\n');fprintf(1,'*****.\n');
    fprintf('Number of sin = %g.\n', sin_num);
    for jj=1:sin_num
        fprintf('frequency j = %g.\n', F(jj));
        fprintf('amplitude j = %g.\n', A(jj));
        fprintf('coef cos j = %g.\n',
w_est(jj));fprintf(1,'.....*.\n');
    end
    fprintf('variance residual = %g.\n',
varte);fprintf(1,'*****.\n');
    pocet=max(length(XCf),1);%pocet harmonickych
    [w1,amp1,ph1,w2,amp2,ph2,ress] = freqest2(ya-aa,pocet);%zvolit
pocet
    fprintf(1,'*****.\n');
    fprintf(1,'*****.\n');
    fprintf('Harmonic Analysis II
.\n');fprintf(1,'*****.\n');
    fprintf('Selected order = %g.\n', pocet);
    for jj=1:pocet
        fprintf('frequency j = %g.\n', w2(jj));
        fprintf('amplitude j = %g.\n', amp2(jj));
        fprintf('phase j = %g.\n',
ph2(jj));fprintf(1,'.....*.\n');

```

```

end
    fprintf('variance residual = %g.\n',
ress);fprintf(1,'*****.\n');
    yyy=zeros(1,lo)';for i=1:pocet
    yyy=yyy+amp2(i).*cos(w2(i).*(xa-1)+ph2(i));
end
    xa=xk.*(1:lo)';
    figure(pobr);pobr=pobr+1;plot(xa,ya(1:lo)-aa,'b',xa,yyy,'r-
','LineWidth',2)
        figure(pobr);pobr=pobr+1;acfl(ya-mean(ya),lo-
10);set(gca,'LineWidth',0.5);

```

Příloha č. 4: Tabulky výsledných statistických parametrů

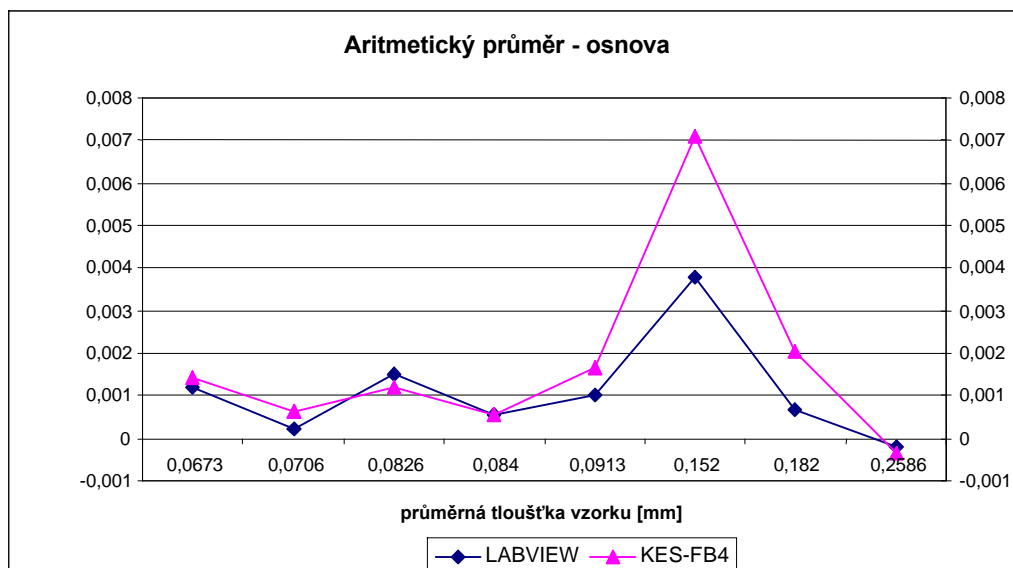
LABVIEW								
tloušťka vzorků								
název vzorku	31HD	PP21	PES	PAD	53S	130T	26S	63M
pořadí (od nejtenčího vzorku)	8	6	5	3	2	1	7	4
průměrná tloušťka vzorku [mm]	0,2586	0,152	0,0913	0,0826	0,0706	0,0673	0,182	0,084
Původní data - osnova	o_1_01	o_2_01	o_3_01	o_4_01	o_5_01	o_6_01	o_7_01	o_8_01
Průměr aritmetický	-0,00020	0,00378	0,00101	0,00152	0,00022	0,00119	0,00066	0,00054
Průměr geometrický	0,0012	0,0001	-0,0108	-0,0160	-0,0093	0,0006	-0,0062	-0,0060
Průměrná absolutní chyba MAD	0,0485	0,1002	0,0604	0,0734	0,0403	0,0053	0,0904	0,0266
Průměrná směrnice profilu MS	0,0707	0,1155	0,1021	0,1246	0,0747	0,0076	0,1251	0,0465
Průměrný čtverec směrnice profilu PSC	0,007764	0,018255	0,013688	0,021150	0,006879	0,000085	0,020654	0,002943
Průměrná křivost PC	0,109	0,149	0,182	0,225	0,148	0,013	0,188	0,088
Rozptyl SD	0,003500	0,012511	0,004828	0,007378	0,002044	0,000041	0,010167	0,000958
Šikmost	0,3263	0,0061	0,4185	0,6488	0,5448	0,0457	0,1541	0,5666
Špičatost	2,596	1,588	1,961	2,146	1,838	2,564	1,585	1,953
10ti bodový průměr	0,240	0,369	0,231	0,304	0,146	0,027	0,327	0,105
variční koeficient CV	-13915,16	6306,43	7615,87	16881,58	10288,14	550,18	4237,44	-521,62
Původní data - útek								
Průměr aritmetický	0,00081	-0,00088	-0,00073	0,00114	0,00137	0,00113	0,00146	0,00144
Průměr geometrický	-0,0021	-0,0119	-0,0101	-0,0263	-0,0123	0,0007	-0,0049	-0,0045
Průměrná absolutní chyba MAD	0,0250	0,1087	0,0631	0,0812	0,0415	0,0043	0,1117	0,0208
Průměrná směrnice profilu MS	0,0236	0,1408	0,1021	0,1274	0,0746	0,0060	0,1556	0,0344
Průměrný čtverec směrnice profilu PSC	0,0008	0,0257	0,0134	0,0227	0,0072	0,0001	0,0305	0,0017
Průměrná křivost PC	0,029	0,189	0,167	0,223	0,148	0,010	0,220	0,063
Rozptyl SD	0,001000	0,014940	0,005114	0,008494	0,002244	0,000029	0,015667	0,000567
Šikmost	0,5969	0,2007	0,3412	0,6656	0,7150	0,0078	0,1012	0,6059
Špičatost	3,016	1,643	1,689	1,949	2,043	2,945	1,579	1,994
10ti bodový průměr	0,137	0,399	0,226	0,303	0,155	0,024	0,397	0,080
variční koeficient CV	4450,37	24748,36	-17116,40	13878,97	3699,99	484,96	-3368,70	1650,66

Tabulka výsledných statických parametrů - program LabVIEW

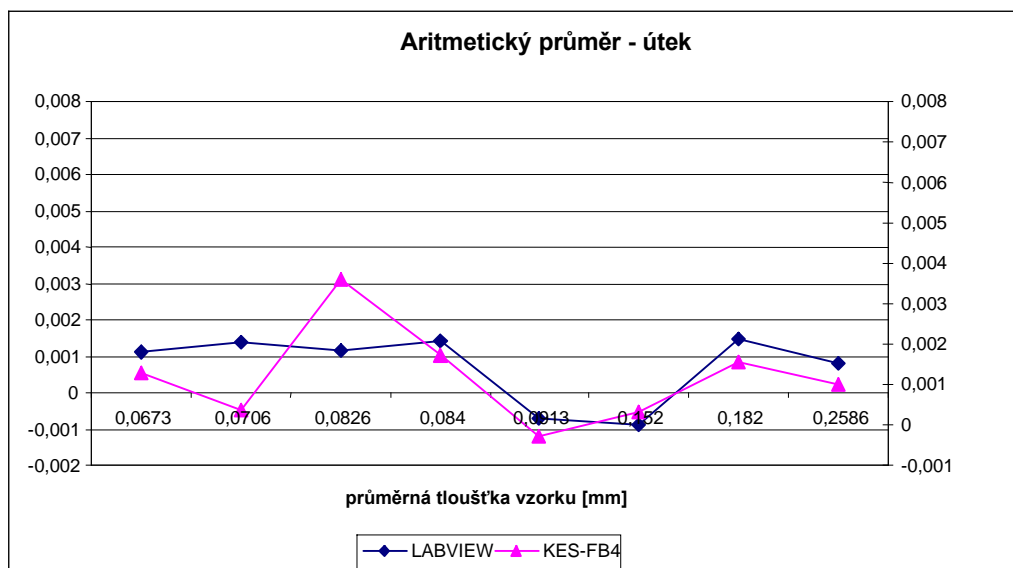
KES-FB4								
tloušťka vzorků								
název vzorku	31HD	PP21	PES	PAD	53S	130T	26S	63M
pořadí (od nejtenčího vzorku)	8	6	5	3	2	1	7	4
průměrná tloušťka vzorku [mm]	0,2586	0,152	0,0913	0,0826	0,0706	0,0673	0,182	0,084
Původní data - osnova	o_1_01	o_2_01	o_3_01	o_4_01	o_5_01	o_6_01	o_7_01	o_8_01
Průměr aritmetický	-0,00034	0,00708	0,00166	0,00121	0,00065	0,00144	0,00203	0,00056
Průměr geometrický	0	0	0	0	0	0	0	0
Průměrná absolutní chyba MAD	0,0466	0,0994	0,0600	0,0734	0,0407	0,0048	0,0889	0,0263
Průměrná směrnice profilu MS	0,0753	0,1380	0,1069	0,1271	0,0703	0,0078	0,1380	0,0416
Průměrný čtverec směrnice profilu PSC	0,00844	0,02544	0,01454	0,02175	0,00657	0,00011	0,02474	0,00260
Průměrná křivost PC	0,13	0,20	0,20	0,23	0,14	0,01	0,23	0,07
Rozptyl SD	0,003310	0,012568	0,004869	0,007571	0,002079	0,000043	0,010168	0,000950
Šikmost	0,1572	-0,0760	0,4443	0,6300	0,5296	-0,0602	0,1884	0,6346
Špičatost	2,779	1,603	1,975	2,142	1,783	3,110	1,703	2,039
10ti bodový průměr	0,248	0,364	0,232	0,298	0,146	0,025	0,335	0,101
variační koeficient CV	-3716,05	2782,62	7886,98	1534,57	2306,00	456,86	-1531,33	456,02
Původní data - útek	u_1_01	u_2_01	u_3_01	u_4_01	u_5_01	u_6_01	u_7_01	u_8_01
Průměr aritmetický	0,00101	0,00032	-0,00027	0,00361	0,00038	0,00130	0,00157	0,00171
Průměr geometrický	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Průměrná absolutní chyba MAD	0,0245	0,1087	0,0650	0,0806	0,0405	0,0036	0,1108	0,0203
Průměrná směrnice profilu MS	0,0277	0,1560	0,1114	0,1348	0,0701	0,0052	0,1710	0,0307
Průměrný čtverec směrnice profilu PSC	0,0013	0,0325	0,0158	0,0247	0,0066	0,0001	0,0368	0,0014
Průměrná křivost PC	0,040	0,243	0,199	0,244	0,134	0,010	0,269	0,053
Rozptyl SD	0,001002	0,014743	0,005375	0,008727	0,002120	0,000029	0,015505	0,000549
Šikmost	0,4801	0,1217	0,3755	0,6653	0,6276	0,4226	0,0946	0,5758
Špičatost	3,134	1,597	1,702	2,009	1,896	4,360	1,609	2,026
10ti bodový průměr	0,141	0,398	0,227	0,308	0,147	0,023	0,400	0,080
variační koeficient CV	11671,38	26351,88	-4359,34	3128,47	-4134,96	406,10	2993,81	1368,63

Tabulka výsledných statistických parametrů - program KES-FB4

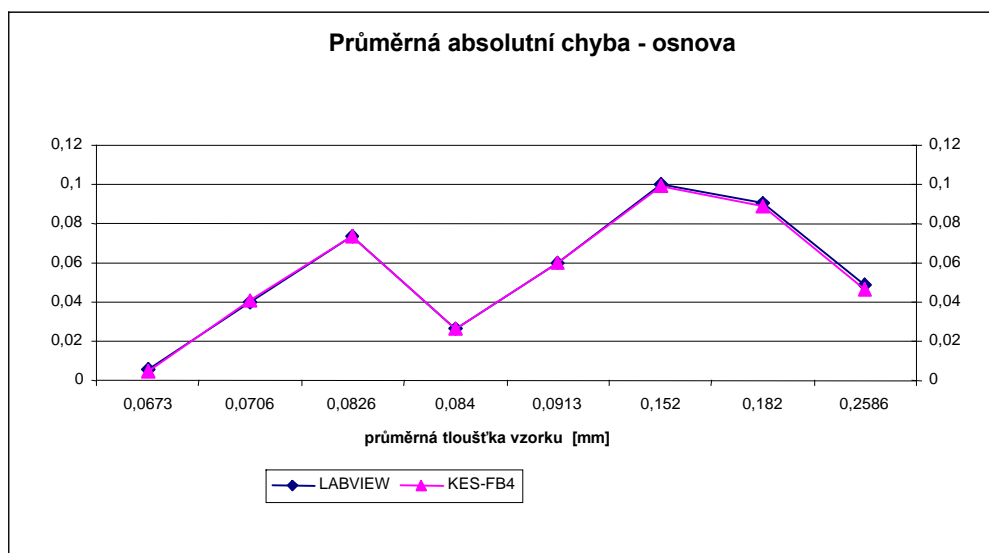
Příloha č. 5: : Grafy porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorků



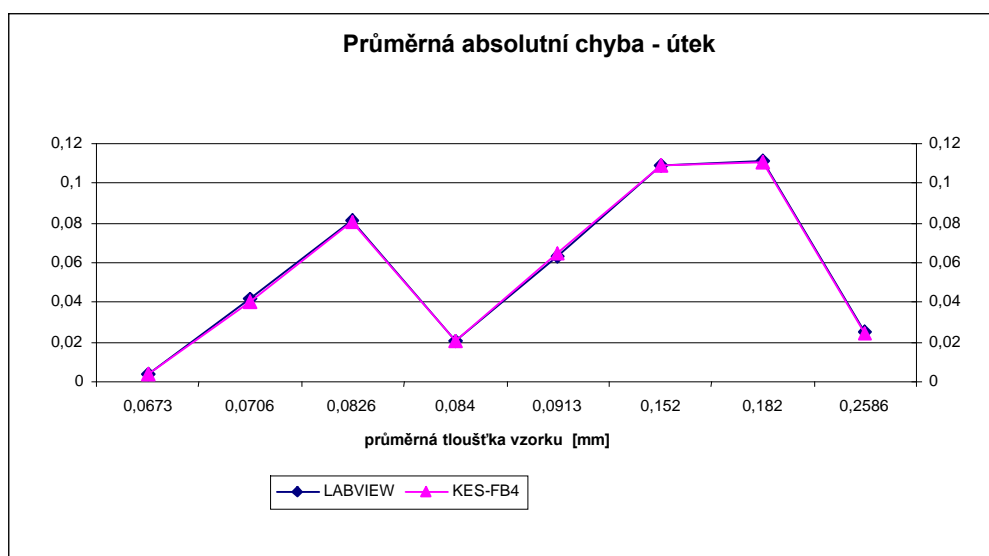
*Graf porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorků –
Aritmetický průměr - osnova*



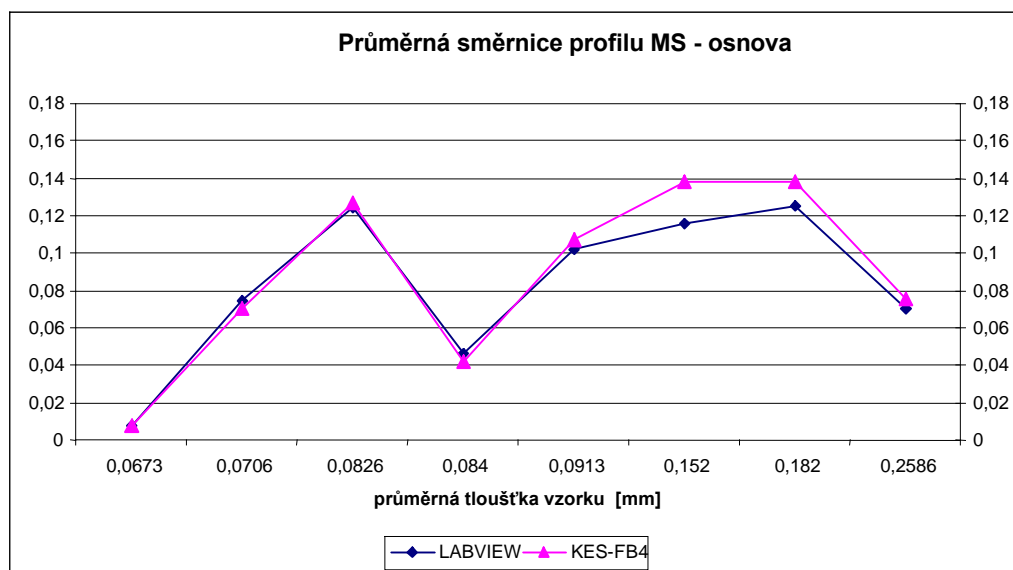
*Graf porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorků –
Aritmetický průměr - útek*



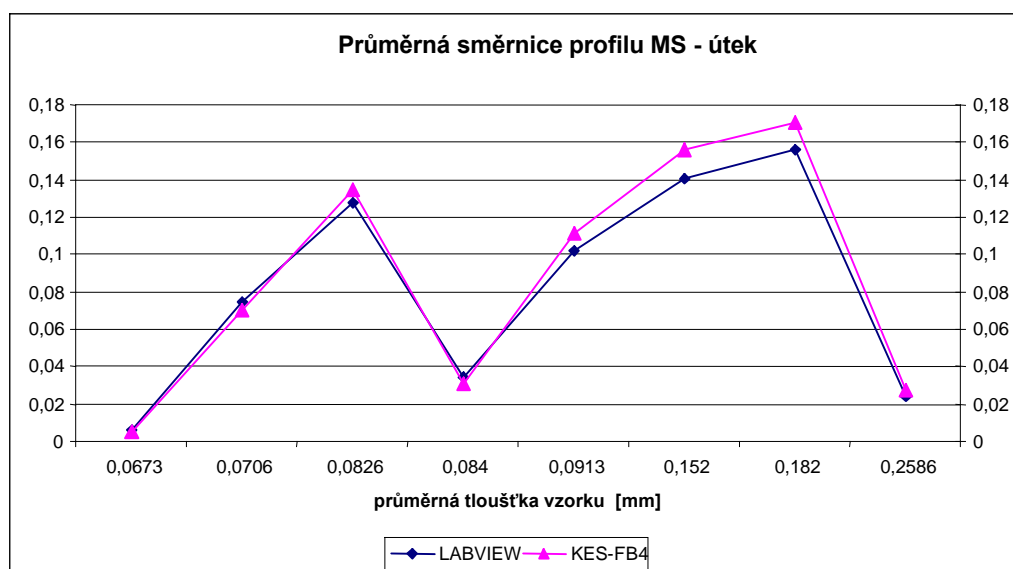
Graf porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorků – Průměrná absolutní chyba - osnova



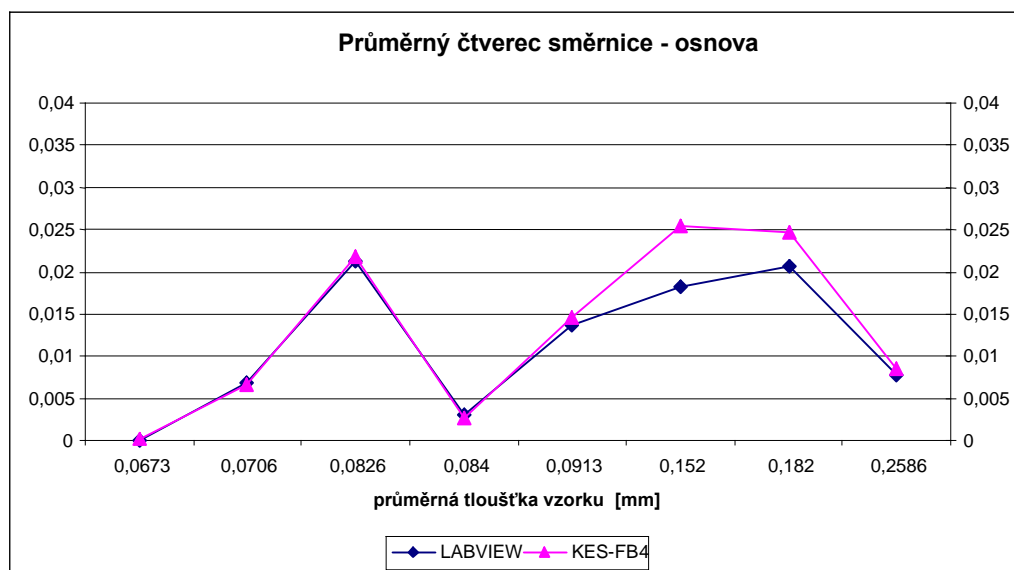
Graf porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorků – Průměrná absolutní chyba - útek



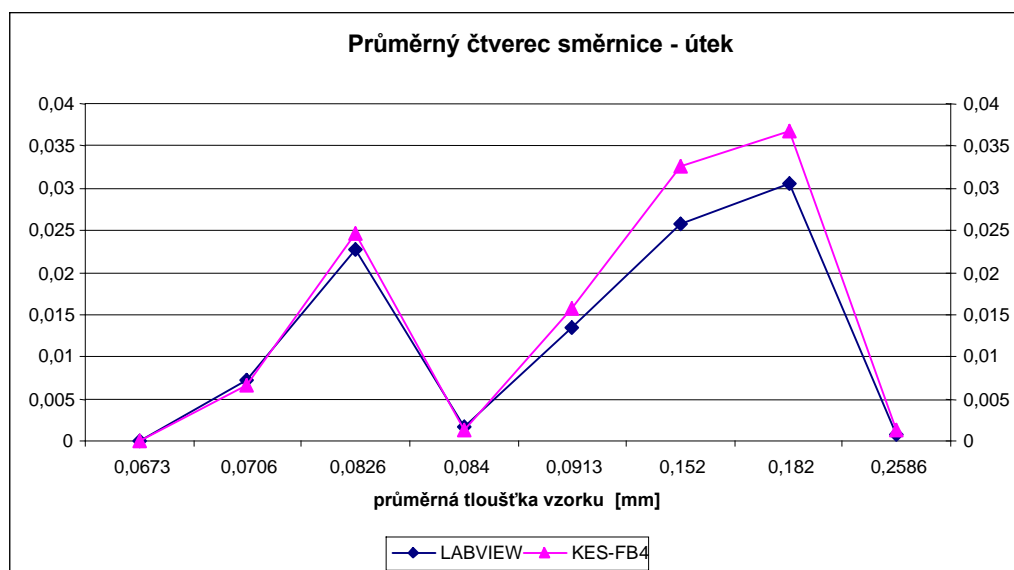
Graf porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorků – Průměrná směrnice profilu MS - osnova



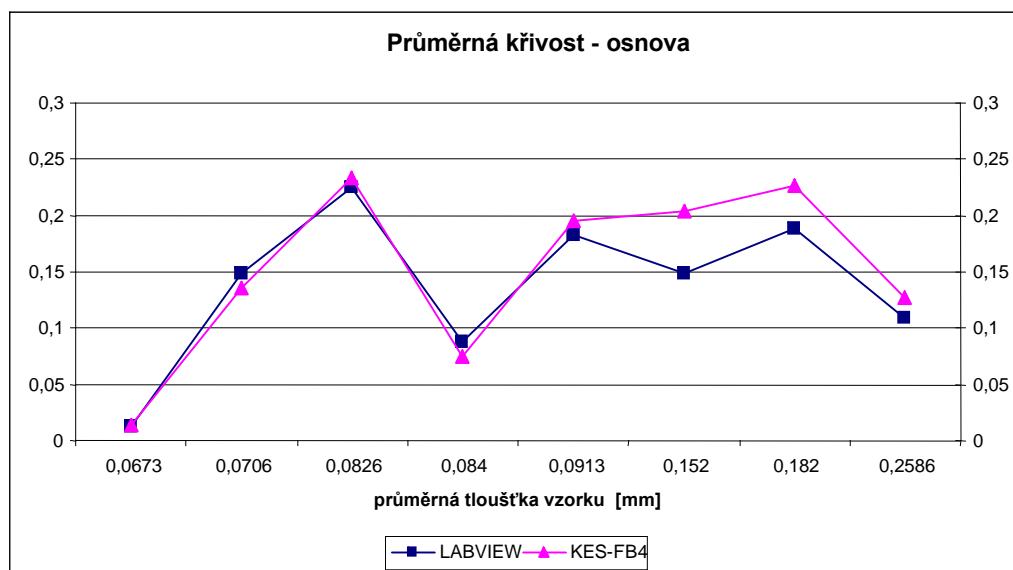
Graf porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorků – Průměrná směrnice profilu MS - útek



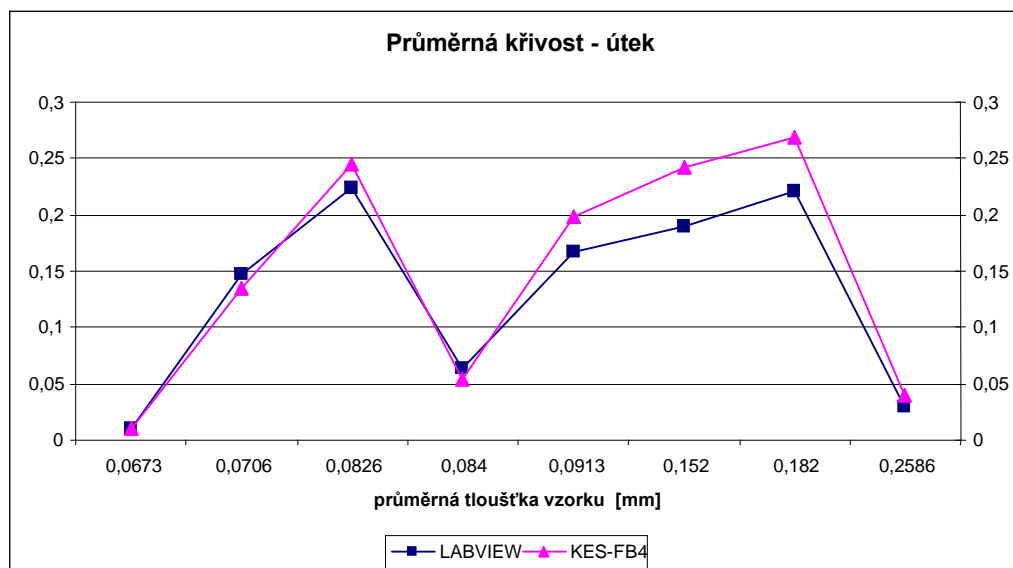
Graf porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorků – Průměrný čtverec směrnice - osnova



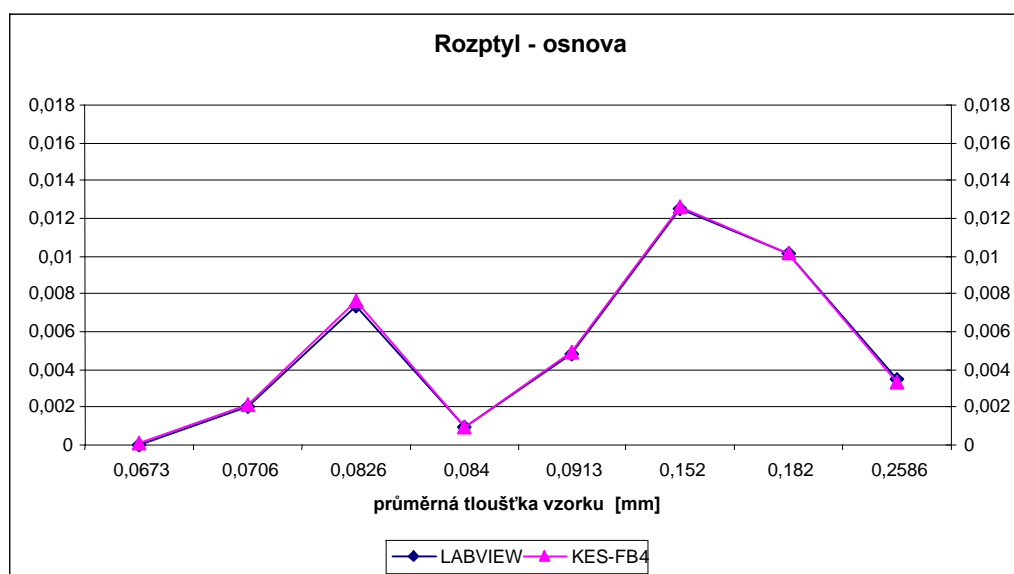
Graf porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorků – Průměrný čtverec směrnice - útek



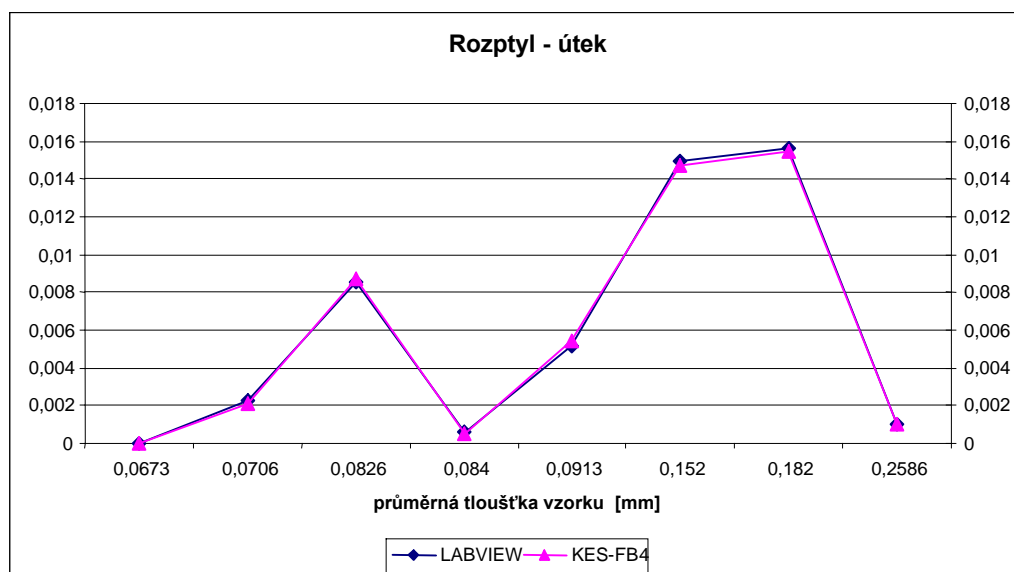
Graf porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorků – Průměrná křivost - osnova



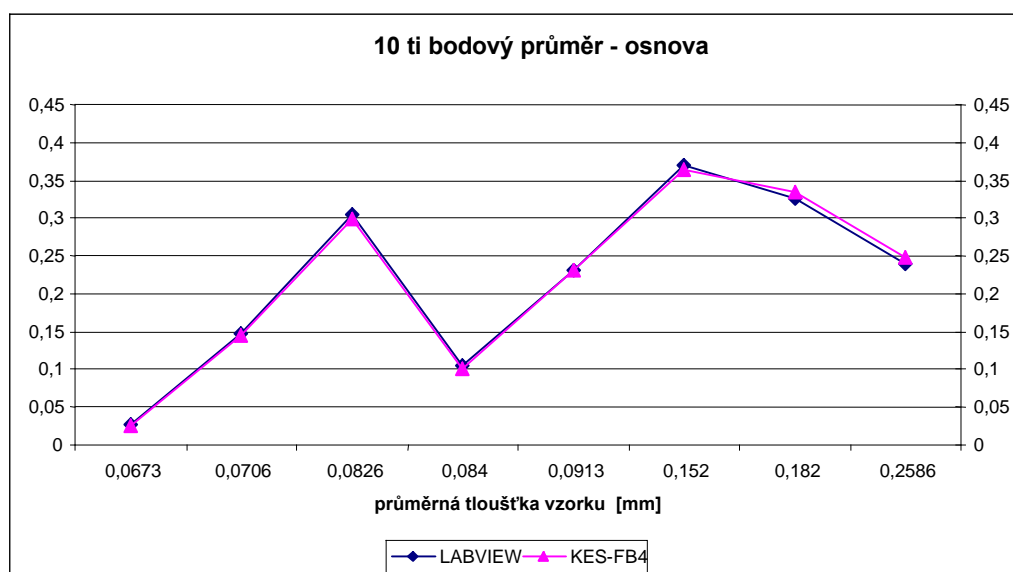
Graf porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorků – Průměrná křivost - útek



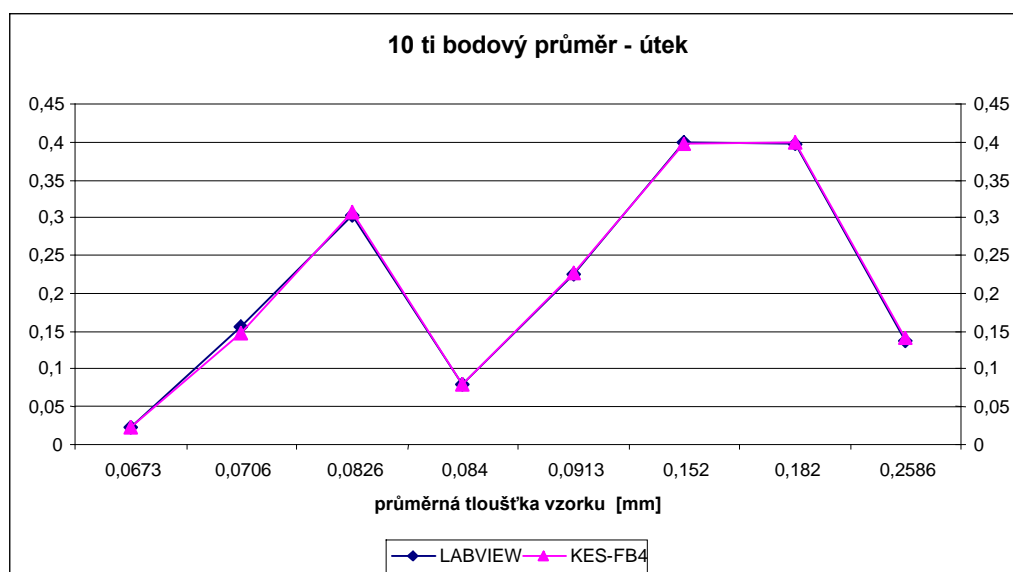
Graf porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorků – Rozptyl - osnova



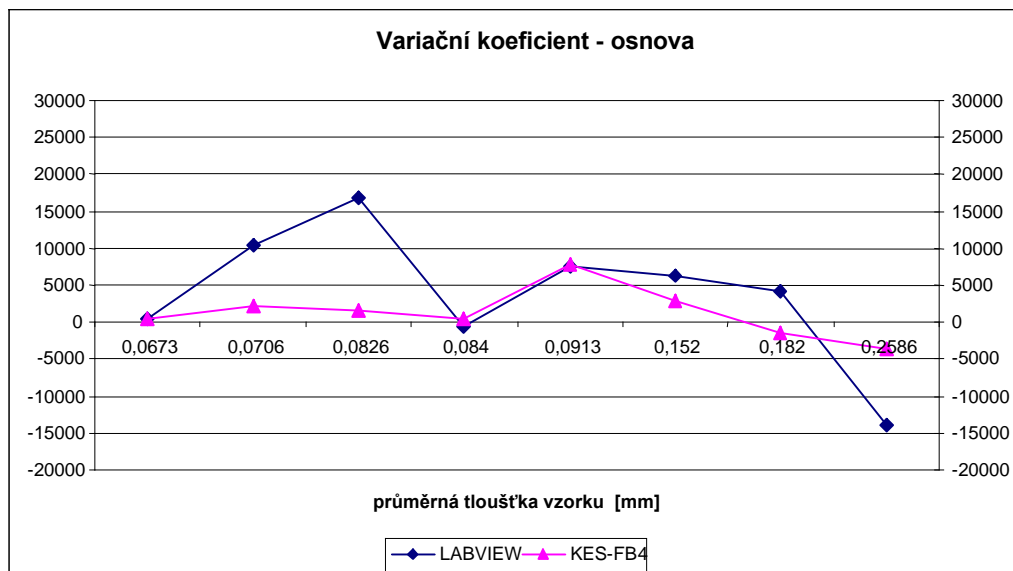
Graf porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorků – Rozptyl - útek



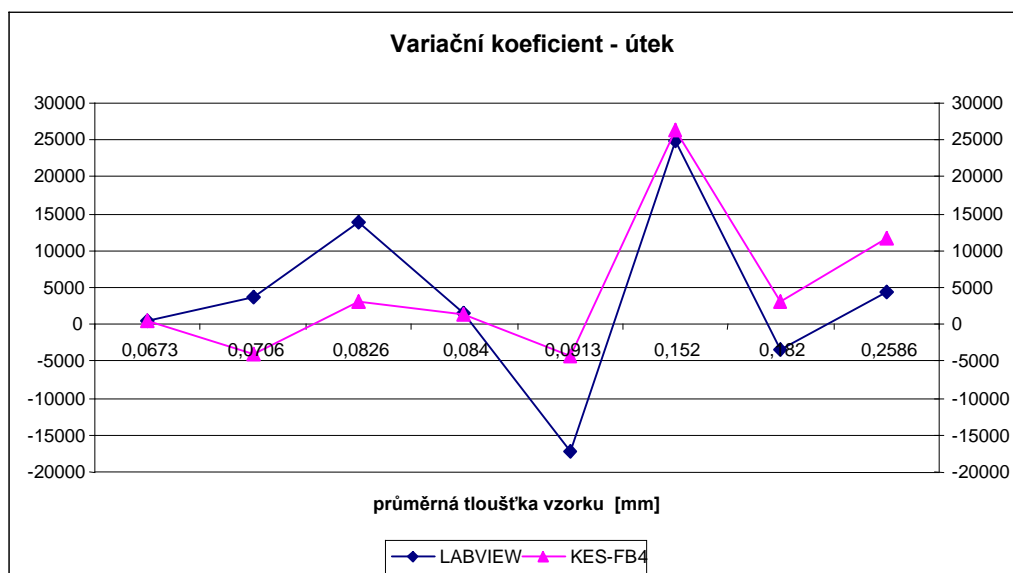
Graf porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorků – 10ti bodový průměr - osnova



Graf porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorků – 10ti bodový průměr - útek



Graf porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorků – Variační koeficient - osnova



Graf porovnání KES-FB4 a LabVIEW v závislosti na tloušťce vzorků – Variační koeficient - útek

